

Aus dem Lehrstuhl für Innere Medizin (Hämatologie) der Universität
und dem Institut für Hämatologie der Gesellschaft für Strahlen- und
Umweltforschung mbH, Assoziation mit EURATOM, München
(Leiter : Prof. Dr. W. Stich)
und dem
Bayerischen Landesinstitut für Arbeitsmedizin, Radiologische Abteilung
(Leiter : Med. Dir. Dr. R. Zimmer)

STRAHLENGEFÄHRDUNG
BEI REPARATUR- UND WARTUNGSARBEITEN
AN EINEM
LEISTUNGSREAKTOR

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin verfasst
und einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt
von
PETER PÖTZSCH

München 1972

Aus der radiologischen Abteilung des Bayer. Landes-
institutes für Arbeitsmedizin, München (Med. Dir. Dr. med.
R. Zimmer)

und dem

Institut für Hämatologie (Prof. Dr. med. W. Stich) der
Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung mbH
8042 Neuherberg bei München

STRAHLENGEFÄHRDUNG
BEI REPARATUR- UND WARTUNGSARBEITEN
AN EINEM
LEISTUNGSREAKTOR

Peter Pötzsch

Als Dissertationsschrift
von der Medizinischen Fakultät
der Universität München genehmigt

Dezember 1972

GSF-Bericht H 216

Das Zustandekommen dieser Arbeit verdanke ich Herrn Prof. Dr. W. Stich, Direktor des Hämatologischen Institutes der Gesellschaft für Strahlenforschung und Umweltschutz, Neuherberg bei München und Herrn Med. Dir. Dr. R. Zimmer, Leiter der radiologischen Abteilung im Bayrischen Landesinstitut für Arbeitsmedizin München.

Ferner möchte ich an dieser Stelle Herrn Oberchemierat K. Philipp für seine hilfreiche Unterstützung bei der Auswertung der radiochemischen Messungen danken.



INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
DIE AUFGABENSTELLUNG DER ARBEIT	1
LITERATUR	2
1. Zur Geschichte des Strahlenschutzes	2
2. Natürliche Strahlung	5
3. Radiopathologie	6
4. Hämatologische Veränderungen bei Strahlenbelastung	7
5. Chromosomale Veränderungen	11
6. Unfälle an Reaktoranlagen	14
7. Vorbeugende Schutzmaßnahmen	15
MATERIAL UND METHODE	20
1. Das Kernkraftwerk Gundremmingen	20
2. Die untersuchten Personen	21
3. Die Untersuchungstechnik	22
a) Dosimetrie	22
b) Body Counter	22
c) Urinausscheidungsanalyse	23
d) Blutbilder	23
ERGEBNISSE	24
1. Die Messungen	24
a) Dosimetrie	24
b) Body Counter	25
c) Urinausscheidungsanalyse	27
d) Blutbilder	41
2. Vergleich von Dosimeter-, Body Counter- und Urinausscheidungsanalysewerten	41
DISKUSSION DER ERGEBNISSE	50
1. Vergleich mit der Literatur	50
2. Schlußfolgerung in Bezug auf die weitere Überwachung	53
ZUSAMMENFASSUNG	55
LITERATURVERZEICHNIS	56

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

- Abb. 1 Blutbildveränderungen nach einem Strahlen-
unfall (n. ANDREWS (14))
- Abb. 2 Meßkurve des Bodycounters
- Abb. 3 Halblogarithmische Zeit/Aktivität-Kurve
- Abb. 4 Meßkurve des Ge(Li)-Detektors
- Abb. 5 dto.
- Abb. 6 Standard Cs-137
- Abb. 7 Urinausscheidungsanalyse v.15.3.71- Arbeiter
- Abb. 8 " - Ehefrau
- Abb. 9 Mittelwerte der drei Gruppen für die
Ausscheidungsanalyse
- Abb. 10 dto. für die Personendosis
- Abb. 11 dto. für die Body Counter Messungen
- Abb. 12-17 Vergleichskurven zwischen Personendosis
und Ausscheidungsanalysewerten
- Abb. 18 Veränderung der Leuko- und Lymphozytenwerte
vor und nach der Abschaltphase
- Abb. 19 Veränderung der Thrombozytenwerte
- Abb. 20 Veränderung des Hb-Wertes
- Abb. 21 Veränderung der Zahl der Erythrozyten
- Abb. 22 Meßkurve der Urinausscheidungsanalyse
vom 17.7.1971
- Abb. 23 dto.
- Abb. 24 Meßkurve - Urinausscheidungsanalyse einer
Kontrollperson
- Abb. 25 Meßkurve - Urinausscheidungsanalyse
vom 18.9.1970
- Abb. 26 dto.

DIE AUFGABENSTELLUNG DER ARBEIT

Bis zum Jahre 1985 werden voraussichtlich 30-35% unseres Energiebedarfs aus Kernbrennstoffen gedeckt werden müssen. Zeigten die bisherigen Kernkraftwerke noch eine Leistung von maximal 300 MW, so werden die neueren bereits mit einer Bruttoleistung von 1200 MW und mehr arbeiten.

Mit der höheren Leistung ist aber auch ein Ansteigen der Gefahrenquellen bei Reparatur- und Wartungsarbeiten verbunden. Zwar ist der Reaktor aufgrund der technischen Bedingungen der sicherste Industriezweig; das schließt aber nicht aus, daß bei der Bedienung der Moderatoren, bei Reparaturen, bei den chemischen Aufbereitungen, selbst bei der Lagerung von Reaktormaterial Personen einerseits von direkter Strahlung getroffen werden können, es aber auch andererseits zu Inkorporationen von radioaktiven Material in Form von Inhalationen oder Aufnahme durch den Magen-Darm-Trakt beziehungsweise über die Haut kommen kann.

Infolgedessen ist eine genaue und zweckmäßige Überwachung des exponierten Personenkreises erforderlich. Dazu zählt nicht nur das Stammpersonal von Kernkraftwerken, sondern auch die Montagetrupps von Fremdfirmen. Vor allem letztere sind besonders gefährdet, da diese Arbeiter von einem Kraftwerk zum anderen ziehen und so ständig neuen Strahlenbelastungen ausgesetzt sein können.

Insofern scheint eine Untersuchung angebracht, die die Messungen der bei einer einzigen Reparaturperiode stattgehabten Strahlenbelastung umfaßt.

Ziel dieser Arbeit soll sein, zu entscheiden, ob eine bundesweite Registrierung der empfangenen Dosen und der stattgehabten Inkorporationen nach jeder einzelnen Reparaturperiode notwendig und einrichtenswert ist.

LITERATUR

1. Zur Geschichte des Strahlenschutzes

Die schädigende Wirkung von Röntgen- und radioaktiven Strahlungen ist schon lange bekannt. Im Jahre 1896, d.h. nur ein Jahr nach der Entdeckung der Röntgenstrahlen, berichtete die "Deutsche Medizinische Wochenschrift" über den deutschen Ingenieur Leppin, dessen Hand beim Austesten von Strahlenbündeln Reaktionen gezeigt hatte, die an eine thermische Verbrennung erinnerten. Im Laufe der nächsten Jahre mehrten sich im deutschen und angloamerikanischen Schrifttum die Berichte, die nicht nur Hautveränderungen (Röntgenhand) beschrieben, sondern auch die ersten Formen eines "Röntgenkaters": Übelkeit und Schwäche nach langfristig exponierten Nierenaufnahmen, Störungen des Skelettwachstums im Tierversuch, Strahlenreaktionen des Blutes und Schädigungen an den Fortpflanzungsorganen. Die "Röntgenhaut" prädisponierte zur Ulcusentwicklung, und dieses wiederum war der Boden für ein sich in Jahren entwickelndes Carcinom. Die "Bergkrankheit" der Schneeberger und Joachimsthaler Grubenarbeiter, die seit dem 16. Jahrhundert bekannt war, wurde in den zwanziger Jahren als primärer Lungenkrebs erkannt, der hervorgerufen wurde durch den Gehalt der Grubenluft an Radiumemanation. (1)

Von RAJEWSKY (2) wurde der tierexperimentelle Nachweis der Krebsentstehung durch die in der Grubenluft vorhandenen Konzentrationen geführt.

Auch in der Leuchtfarbenindustrie der USA wurden Fälle von Berufsschädigungen bei Frauen bekannt, die die radium- und radiothorhaltigen Leuchtmassen auf Uhrenzifferblätter auftrugen. Diese Frauen erkrankten nach einigen Jahren an leukopenischer Anämie und Knochensarkomen.

Der tierexperimentelle Nachweis einer Induktion von Sarkomen durch Röntgenstrahlen wurde 1929 und 1933 durch LACSSAGNE (3,4) erbracht.

Aufgrund der zunehmenden Entwicklung von Strahlenschutznormen sind erfreulicherweise die Strahlenschäden in Industrie und Medizin in den letzten vier Jahrzehnten immer mehr zurückgegangen.

Die sicherlich erste Strahlenschutzvorrichtung überhaupt stammt bereits von Röntgen selbst. (5) Er hielt sich nämlich während seiner Versuche in einer mit Blei verstärkten Zinkkiste auf.

Zu den frühen Strahlenschutzmaßnahmen zählten auch der ausreichende Abstand von der Strahlenquelle und die Verwendung von Schutzschichten aus schweren Metallen.

Bis zum Jahre 1934, als die Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege die Vorschriften der Deutschen Röntgen-Gesellschaft in ihre Unfallverhütungsvorschriften (UVV) übernahm, gab es keine festen Normen für den Strahlenschutz, sondern nur eine Reihe von "Empfehlungen", "Richtlinien" und "Vorschriften" nationaler Fachgesellschaften.

Die von MUTSHELLER (6) angegebene Personendosis von 0,25 r/d (und von 0,025 r/d im Bereich der Generationsorgane) wurde in die UVV von 1940 übernommen. Zu dieser Zeit war man noch der Ansicht, daß es einen gewissen Schwellenwert für die biologische Strahlenwirkung geben müsse, unterhalb dessen jeder nachweisbare Effekt ausgeschlossen sei, ein Wert, der als Toleranzdosis bezeichnet wurde.

Mit dem Schutz der Arbeitnehmer in gewerblichen Strahlenbetrieben befaßte sich die 1941 erlassene "Röntgen-Verordnung", die - mit einer geringfügigen Änderung - heute noch Gültigkeit hat. Lediglich der Umgang mit radioaktiven Isotopen wurde in der 1. Strahlenschutzverordnung neu geregelt.

Aufgrund zahlreicher Tierversuche und den Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRF)

wurde anstelle der "Toleranzdosis" der Begriff der maximal zulässigen Dosis eingeführt. Wörtlich heißt es in den Empfehlungen der ICRP:

"Jedes Abweichen von den Umweltsbedingungen, in denen sich der Mensch entwickelt hat, kann zu einem Risiko nachteiliger Wirkungen führen. Daher wird angenommen, daß eine fortlaufende Belastung durch ionisierende Strahlung, die zu der natürlichen Hintergrundstrahlung dazukommt, ein gewisses Risiko mit sich bringt. Der Mensch kann jedoch nicht völlig auf die Anwendung der ionisierenden Strahlen verzichten, und darum besteht das Problem praktisch darin, die Strahlendosis auf eine Dosis zu beschränken, die ein Risiko mit sich bringt, das für das Individuum und die Bevölkerung als Ganzes nicht unannehmbar ist. Diese Dosis wird zugelassene Dosis genannt. ... Die Kommission empfiehlt, daß alle Dosen so niedrig wie möglich gehalten werden sollen, und daß jede unnötige Belastung vermieden wird."

Die Einführung von Filmplaketten war ein weiterer Fortschritt auf dem Gebiet der Strahlenschutzüberwachung; sie geht zurück auf LANGENDORFF, SPIEGLER und WACHSMANN (7) und ermöglichte erstmals im Bundesgebiet eine freiwillige, systematische und statistisch festgehaltene Dosiskontrolle.

Im Jahre 1960 wurde schließlich die Erste Strahlenschutzverordnung (1.Strl.Sch.VO.) verabschiedet, die den Umgang mit radioaktiven Stoffen, seine Verwendung, die Beseitigung von radioaktiven Abfall u.a. regelt.

Gemäß § 46 der 1.Strl.Sch.VO. sind entsprechend dem Umgang mit radioaktiven Stoffen ärztliche Untersuchungen in einem bestimmten Turnus durchzuführen.

2. Natürliche Strahlung

Schon immer war alles Leben auf der Erde einer natürlichen Strahlung ausgesetzt, die sich im wesentlichen zusammensetzt aus einer kosmischen Strahlung, einer terrestrischen Strahlung und der Strahlung der natürlichen Radionuklide wie ^{14}C und ^{40}K . Dabei ist von Interesse, daß die terrestrische Strahlung an verschiedenen Orten der Erde unterschiedliche Intensität aufweist; so beträgt z.B. der Wert für einige Gegenden Indiens oder Brasiliens bis zu 1500 mrem/a, das ist mehr als das Zehnfache der mittleren Jahresdosis. (8)

Insgesamt beträgt der durchschnittliche Jahreswert der von einer Person erhaltenen natürlichen Strahlung ca. 100 mrem. Hinzu kommt die Strahlung aus dem sogenannten "fall out" der Atombombenversuche, die zur Zeit etwa 1% der natürlichen Strahlung ausmacht.

Sicherlich können auch durch diese natürliche Hintergrundstrahlung Mutationen hervorgerufen werden. Nach WACHSMANN (9) muß z.B. die natürliche Strahlenbelastung des Menschen als Ursache für ein Zehntel der auftretenden spontanen Leukämiefälle angesehen werden.

Ein Schwellenwert dürfte nicht existieren, d.h. also ein Wert, unterhalb dessen keine Folgen im Sinne von Mutationen zu befürchten sind.

Dieses Problem soll aber nicht Aufgabe und Gegenstand dieser Arbeit sein.

3. Radiopathologie

Alpha-, Beta- und Gammastrahlen, sowie Röntgenstrahlen, Protonen und Neutronen führen beim Eindringen in ein biologisches System zu Primärereignissen wie Ionisation und Anregung, die ihrerseits chemische Reaktionen auslösen, die wiederum biologische Vorgänge zur Folge haben. Man unterscheidet zwischen direkter Wirkung der ionisierenden Substanzen und indirekter durch die Bildung von Radikalen. Die biologische Wirkung ist abhängig u.a. von der Höhe der absorbierten Dosis, von ihrer räumlichen und zeitlichen Verteilung, der Strahlensensibilität des Organismus, dem Sauerstoffgehalt des Gewebes, von dessen Temperatur und Feuchtigkeitsgehalt, von der eventuellen Anwesenheit von Schutzsubstanzen und der Erholungsfähigkeit des Organismus.

Die sogenannte relative biologische Wirksamkeit ist abhängig von der räumlichen Verteilung der erzeugten Ionen und beträgt somit für Alpha-Strahlen etwa das Zehnfache der Röntgenstrahlen.

Besonders empfindlich reagierend auf Bestrahlung ist der Zellkern, vor allem, wenn er direkt vor der Teilung bestrahlt wird: (10)

Bei Teilkörperdosen werden erstaunlich hohe Werte toleriert, bei Ganzkörperbestrahlung wirken beim Menschen 500-800 R letal.

Als "Röntgenkater" wurden früher die pathologischen Symptome bezeichnet, die auftraten, wenn mehr als die Hälfte des Organismus bestrahlt wurde. Es handelt sich dabei, wie man durch die Atombombenexplosionen von Hiroshima und Nagasaki erfahren mußte, um die Symptome der typischen Strahlenkrankheit, deren Verlauf man heute mit einiger Sicherheit genau voraussagen kann. Nach den Initialsymptomen Müdigkeit, Erbrechen und allgemeinem Krankheitsgefühl kommt es nach einer charakteristischen beschwerdefreien

Latenzzeit, deren Dauer umgekehrt proportional zur empfangenen Dosis ist, zu Reaktionen am blutbildenden System, zur Schädigung des Magen-Darm-Trakts und des ZNS, zu Epilationen und Strahlendermatitis und zum Abfall der Spermienzahl und Sterilität.

Bei einer Strahlenbelastung mit Dosen von 300-500 rad, nach der eine Erholung unter Ausnützung aller therapeutischen Möglichkeiten noch möglich ist, kommt es in erster Linie zu Schäden am hämatopoetischen System, am intestinalen Epithel, sowie zu intercurrenten Infekten, die durch den Granulozytenmangel bedingt sind.

Die Wirkung sehr kleiner Strahlendosen tritt u.U. erst nach sehr langer Latenzzeit auf. Bestimmte pathologische Effekte wie Leukämie, Carcinome und Knochentumore können noch viele Jahre nach einer Exposition mit kleinen Dosen auftreten.

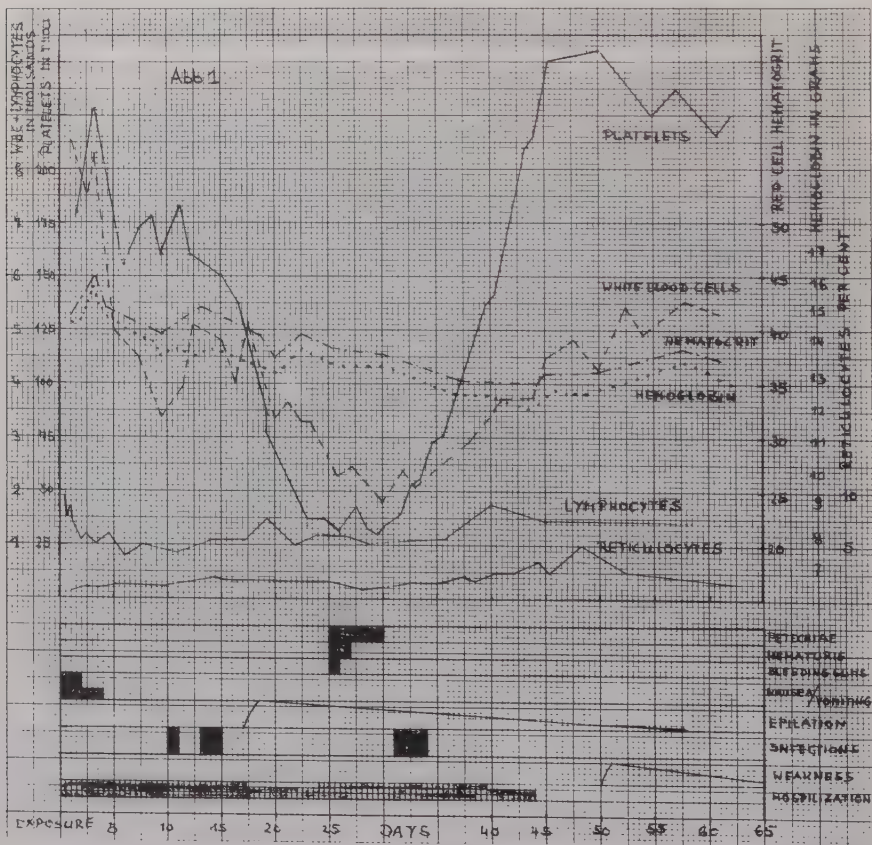
4. Hämatologische Veränderungen bei Strahlenbelastung

Wie aus dem Vorausgegangenen ersichtlich, ist das blutbildende System dasjenige Gewebe, das am empfindlichsten und schnellsten auf eine Bestrahlung reagiert. So ist es nur verständlich, daß für lange Zeit Veränderungen des Blutbildes als Indikator für einen Strahlenschaden angesehen wurden.

Im Jahre 1953 konnte jedoch LANGENDORFF (11) durch eigene Versuche und durch gleichzeitige ähnliche Untersuchungen anderer Autoren nachweisen, daß Ratten, die täglich mit einer Dosis von 2,5 R bestrahlt wurden und bei denen eine wöchentliche Bestimmung der weißen Blutzellen vorgenommen wurde, keine pathologische Veränderung des Blutbildes zeigten, die auf eine Strahlenschädigung hinwiesen. Von einem ähnlichen Versuch berichten CHAMBERLAIN u.a. (12), die 849 Arbeiter eines Atomkraftwerkes auf Blutbildveränderungen untersuchten. Die Arbeiter hatten im Laufe eines Jahres eine Dosis von 0,4 rem erhalten. Als Vergleichsmaterial dienten 884 Arbeiter, deren Strahlenbelastung

weniger als 0,12 rem/a betrug. Zwar zeigte sich im ersten Fall eine Senkung der Lymphozytenzahl um ca. 3,5 %, während die Kontrollgruppe einen durchschnittlichen Anstieg von ca. 2 % aufwies, doch weisen die Autoren mit Recht auf die große Schwankungsbreite bei einer solchen Untersuchung hin, die für Lymphozyten z.B. 23% betrage. Aus neuerer Zeit stammen die Untersuchungen von MORCZEK, SCHMIDT und LESSEL (13), die bei 411 strahlenexponierten Personen nur 4 mit von der Norm abweichenden Blutbildern fanden.

Die Anzahl der Blutzellen ist also nur ein- dann allerdings recht verlässlicher - Indikator für eine akute hohe Strahlenbelastung. Dies wird sehr gut demonstriert durch die Untersuchungen von ANDREWS u.a. (14) an 5 Personen, die 1958 bei



dem Unfall am Oak Ridge Reaktor eine Strahlendosis von durchschnittlich 300 rad erhalten hatten.

Bei dem einige Wochen dauernden Krankenhausaufenthalt dieser Männer wurden regelmäßige Blutbildkontrollen vorgenommen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigt Abb. 1

Nach Darstellung der Verfasser verliefen alle Reaktionen wie erwartet; einige Infektionszwischenfälle zur Zeit des größten Granulozytenabfalles und eine leichte Hämorrhagie zur Zeit des größten Thrombozytenabfalles konnten leicht beherrscht werden.

So sicher, wie man bei der Vorhersage der Reaktionen des Blutes nach einer akuten hohen Strahlenbelastung ist, so unsicher ist man bei der Beurteilung der Wirkung kleiner Dosen,

Daß das Risiko bei chronisch zugeführten kleinen Dosen hoch ist, zeigt das im Vergleich zur Gesamtbevölkerung um den Faktor 5 vermehrte Auftreten von Leukämien und Plasmozytomen bei Radiologen. (15,16)

Es ist daher von großer Wichtigkeit, empfindliche hämatologische Untersuchungsmethoden zu finden, die frühzeitig eine Strahlenschädigung anzeigen, bevor es überhaupt zu quantitativen Blutbildveränderungen kommt.

Es soll nun ein kurzer, aber keineswegs vollständiger Überblick folgen über die in den letzten Jahren durchgeführten Untersuchungen der Blutzellen auf ihre eventuelle Verwendungsmöglichkeit als "Strahlendosimeter".

Bei normaler Gesamtleuko- und Lymphozytenzahl fanden JORKE und WEDEKIND (17) einen Anstieg der Lymphoidzellen, der großen Lymphozyten und der Sinuslymphozyten, sowie einen Abfall der kleinen Lymphozyten und der Follikellymphozyten bei der Untersuchung beruflich strahlenexponierter Personen.

VICH und BERAM (18) stellten - wiederum bei normaler Zahl der Lymphozyten - azulophile Granula im Zytoplasma, dessen

Proliferation und zweikernige Lymphozyten im Blut von Arbeitern aus einem Uranbergwerk fest, die einer Gesamtbelastung bis zu 10 R ausgesetzt waren.

Das Auftreten von zweikernigen, bzw. zweilappigen Kernen von Lymphozyten wurde schon 1949 von INGRAM und BARNES (19) bei Cyclotronarbeitern beschrieben.

1957 kamen DOBSON und CHUPP (20) zu einem ähnlichen Ergebnis. Sie fanden bei 8 Personen, die einer wöchentlichen Strahlenbelastung von 2 R ausgesetzt waren, 5,9 zweikernige Lymphozyten auf 50 000 gegenüber nur 1,4 bei Kontrollpersonen.

Auf eine eventuelle Bedeutung des Granulozyten-Zinkgehalts weisen ALEX und ZUR HORST-MEYER (21) hin. Die Verfasser werfen die Frage auf, ob durch den bei beruflich strahlenexponierten Personen festgestellten abgesunkenen Zinkgehalt der Granulozyten eine Leukämieentstehung begünstigt wird.

Den Segmentindex der neutrophilen Granulozyten fanden BUHR und ZUR HORST-MEYER (22) bei beruflich Exponierten - abhängig von der eingestrahlten Dosis - ($4R/a$) erhöht.

Mit strahlenbedingten Veränderungen am Erythrozyten hat sich GERHARDT (23) beschäftigt. Er untersuchte bei röntgendiagnostisch tätigen Ärzten die Erythrozyten auf die Bildung der sogenannten Heinz-Körper, das sind von R. Heinz 1890 erstmalig beobachteten Niederschläge, die als Kerntrümmer nach Einwirkung von Phenylhydrazin in Erythrozyten entstanden.

Bei 32 Normalpersonen wurden in keinem Fall mehr als 12% Erythrozyten gefunden, die mehr als 4 Heinz-Körper trugen. Auch bei 5 Personen, die erst kurze Zeit (weniger als 3 Monate) röntgendiagnostisch tätig waren, lagen die Werte an der oberen Grenze der Norm. Bei den 14 über ein Jahr tätigen Radiologen war der Test mit einer Ausnahme pathologisch. Ein Zusammenhang mit vermindertem Eiseneinbau in die Erythrozyten nach geringen Strahlendosen wird als Ätiogenese diskutiert.

In zwei neueren Arbeiten setzt sich GERHARDT (24,25) ausführlich mit dem Problem der Heinz-Körper auseinander. So fand er bei 96 beruflich strahlenexponierten Personen Werte zwischen 10 und 60% Innenkörperbildung. Offensichtlich sei beim Erythrozyten das Hämoglobin die auf Strahlen empfindlichste Substanz.

Ferner hält er die vermehrte Heinz-Körperbildung bei chronisch strahlengeschädigten Personen im Beutler-Test und in vitro für einen Ausdruck eines Gluthathionmangels und einer GSH-Synthese-Störung.

ZUR HORST-MEYER (26) beobachtete bei beruflich strahlenexponierten Personen eine Änderung des Volumens des Erythrozyten in Abhängigkeit vom Personendosimeterwert, und zwar zeigte sich, trotz der geringen Strahlenbelastung der untersuchten Personen (5R/a), bei steigender Exposition eine Volumenzunahme. Die Hypothese einer strahleninduzierten Störung der DNS - in Analogie zur Perniziosa - würde durch diese Untersuchungsergebnisse gestützt.

5. Chromosomale Veränderungen

Die ersten Beobachtungen über Chromosomenveränderungen nach Bestrahlung von Pflanzenzellen stammen von SAX (27/28/29) und gehen zurück auf die Jahre 1938- 41.

Aus neuerer Zeit liegen eine Reihe von Untersuchungen über Chromosomenaberrationen beim Menschen nach therapeutischer Bestrahlung vor, so daß es notwendig erscheint, näher darauf einzugehen, da gerade damit die Möglichkeit gegeben scheint, die Wirkungen kleinster Dosen nachzuweisen. Leider scheitert die routinemäßige Anwendung dieser Untersuchungen noch immer an dem großen technischen und zeitlichen Aufwand.

BUCKTON u.a. (30) halten die peripheren Lymphozyten des strömenden Blutes für besonders günstig für eine Chromosomenanalyse, da deren Überlebenszeit ca. 1600 Tage beträgt. 37 Frauen mit einem Genital-Carcinom im Alter zwischen 42 und 84 Jahren wurden von BAUCHINGER und HUG (31) während oder am

Ende einer kombinierten Radium-Röntgen-Behandlung auf Chromosomenaberrationen untersucht. In einer Kontrollgruppe von 6 unbestrahlten Tumorpatientinnen und 8 unbestrahlten Personen ohne maligne Erkrankungen fanden die Autoren nur 15% nicht-modale Zellen mit normalem Chromosomenmuster, 3% der Zellen zeigten Chromosomenstrukturaberrationen, vorwiegend im Sinne einfacher Chromatidenaberrationen.

Bei den bestrahlten Tumorpatientinnen war die Zahl nicht-modaler N-Zellen etwas vermehrt, der Anteil der Zellen mit unspezifischen Chromosomenaberrationen (achromatische, Lücken, pyknotische Chromosomen, Satellitenassoziation und Satelliten, Centromerenassoziation) hingegen signifikant erhöht.

Am deutlichsten war jedoch die starke Zunahme der Zellen mit Chromosomenstrukturaberrationen, die maximal bis 59,4% der modalen N-Zellen ausmachten, auch bei Patientinnen, die erst wenige Bestrahlungen erhalten hatten. Am häufigsten waren azentrische Fragmente, oft kamen dizentrische Chromosomen vor, Polyploide fehlten.

Die gleichen Autoren (32) fanden bei einer Untersuchung von 34 "Radiumschwestern", die in 0,1-13 Jahren eine Gesamtdosis zwischen 0,13 und 97,7 R erhalten hatten, signifikante Chromosomenaberrationen in der Lymphozytenkultur. Durchschnittlich enthielten 4,6 % aller Zellen typische Defekte. Die Bruchrate war mit 0,056 Brüchen pro Zelle viermal höher als in den Kontrollfällen. Auch die Zahl der aneuploiden Zellen war überhöht.

Im Vergleich dazu brachten die Chromosomenuntersuchungen von 8 Ärzten mit einer Personendosis unter 5 R keinen signifikanten Unterschied zu unbestrahlten Kontrollfällen. Die Verfasser sind der Ansicht, daß auch in den Fällen, in denen die Zahl der Aberrationen nicht signifikant erhöht ist, zumindest ihre Art gewisse Hinweise auf eine Strahlenbelastung gibt; denn bestimmte Aberrationstypen wie dizentrische Chromosomen, Ringe, oder atypische, nichtklassifizierbare

Chromosomen werden in gesunden, unbestrahlten Personen praktisch nie beobachtet.

In einer Ergänzung zu dieser Arbeit versuchen BAUCHINGER, SCHMID und HUG (33) anhand von zwei Gruppen von verschiedenen chronisch berufsmäßig bestrahlten Personen einen eventuellen Nutzen der Chromosomenanalyse für die biologische Dosimetrie aufzuzeigen. Es handelt sich bei diesen beiden Gruppen um die vorher erwähnten 34 "Radiumschwwestern", sowie um 29 Arbeiter aus einem Kernkraftwerk, die in einem Zeitraum von 1-9 Jahren mit einer Gesamtdosis zwischen 1,0 und 18,2 rem bestrahlt worden waren; bei 17 Arbeitern fand sich zusätzlich eine geringe innere Bestrahlung durch Inkorporation der Nuklide ^{58}Co , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{131}I . Es fanden sich: eine Erhöhung der Bruchrate auf 0,037 pro Zelle, aber keine Beziehung zwischen Dosis und Anzahl der Brüche, im Gegensatz zu der Gruppe der Krankenschwestern; das konnte auch kaum erwartet werden, da die untersuchten Personen mit verschiedenen Strahlenquellen arbeiteten und unter verschiedenen Expositionsbedingungen. Im übrigen verweisen die Verfasser auf die vielen unbekannten Größen, wie z.B. die Entwicklungsstufen der einzelnen lymphoiden Zellen, die zeitliche Verteilung der Dosis im Gewebe, die verschiedene Absorption der Strahlung im Gewebe. Man könne keine lineare Beziehung zwischen der Anzahl der Chromosomenbrüche, also einer biologischen, vielschichtigen Größe und einer einfachen physikalischen Größe, wie es die Dosis ist, erwarten.

Zu einem ähnlichen Schluß kommt SCHNICKEL (34). Auch er hält Chromosomenaberrationen als gut geeignet für einen qualitativen Nachweis stattgehabter Bestrahlung; als Grenze für die Gültigkeit als "biologisches Dosimeter" zum quantitativen Nachweis der Stärke der Exposition sieht er 50 R an.

Von zwei Untersuchungen an peripheren Leukozyten von Personen, die 5 bzw. 7 Jahre zuvor bei Unfällen mit schnellen

Neutronen, Elektronen und Gammastrahlen einer Strahlendosis bis maximal 419 rad ausgesetzt waren, berichten PENDIC (35) und KONG-OO-GOH (36). In beiden Fällen wurden auch noch nach dieser Zeit signifikante Chromosomenveränderungen nachgewiesen. KONG-OO-GOH diskutiert in diesem Zusammenhang auch die Hypothese einer Substanz, die, durch die Bestrahlung hervorgerufen, so lange Zeit die Chromosomen beeinträchtigen kann.

Untersuchungen von DONEV u.a. (37) erbrachten, daß bereits Strahlendosen von 17-682 mrad über die natürliche Grundstrahlung hinaus beim Menschen zu signifikanten Chromosomenveränderungen führen können. 30 Personen, die in einer Umgebung mit gemischten Gamma- und Neutronenstrahlen beschäftigt waren, wurden untersucht. Als Kontrollen dienten 10 klinisch gesunde Personen, die außerhalb des Strahlungsbereiches lebten. Es wurden strukturelle und numerische Chromosomenveränderungen in $6\frac{3}{4}/100$ der analysierten Zellen gefunden, im Gegensatz zu nur 2-8 der Kontrollgruppe. Im einzelnen fanden sich auch hier wieder: Brüche, zentrische und azentrische Fragmente, dizentrische Chromosomen, Ringformen, Deletionen und Transformationen bei verschiedenen Chromosomen, Pseudodiploidie, Endoreduplikations-Polyploidie u.a. Zum Abschluß soll noch eine Gegenstimme zu Wort kommen. Aus der UdSSR stammen die Untersuchungen an therapeutisch bestrahlten Patienten, die von TSARANOVA und BOCHKOV veröffentlicht wurden. Die Zahl der Chromosomenaberrationen lag bei allen Dosen und bei allen Gruppen einschließlich der Kontrollgruppe bei ca. 1%. Daraus wird gefolgert, daß es keine durch Bestrahlung verursachten Chromosomenaberrationen gäbe.

6. Unfälle am Reaktor

Seit der Errichtung des ersten Atomreaktors durch E. FERMI 1942 kam es zu einigen, zum Teil schwer verlaufenden Unfällen.

Man muß aber einschränkend sagen, daß davon stets nur Forschungs- und Versuchsreaktoren betroffen waren, bei denen die Sicherheitsprüfungen noch nicht so streng gehandhabt wurden wie heute.

Der schwerste Unfall dieser Art ereignete sich am 3.1.1961 bei Überholungsarbeiten am SL-1 Reaktor in Idaho/USA, bei dem durch das Freiwerden von radioaktiver Energie drei Techniker, die die Regelmechanik zusammenbauen sollten, getötet wurden und insgesamt 22 Personen des Strahlenschutzes bei der Bergung der Toten Dosen zwischen 3 und 27 R erhielten. (39)

Am 15. Oktober 1958 wurden 6 Personen in Jugoslawien exponiert, von denen eine an den Folgen der Strahlenschäden starb. Im Dezember 1958 wurde am Reaktor in Los Alamos eine Person so stark geschädigt, daß sie bereits 36 Stunden nach dem Unfall verstarb.

Erwähnenswert ist ferner der Unfall am Reaktor in Windscale/England, bei dem zwar keine Personen zu Schaden kamen, aber eine Fläche von 4000 km^2 (vorwiegend Weideland) durch ^{131}J , ^{137}Cs und Radiostrontium verseucht wurde; dabei wurden 3 Millionen Liter Milch ungenießbar.

Beim Unfall in Lucens/Schweiz am 21.1.1969 gelangten die freiwerdenen Spaltprodukte nicht in die Atmosphäre; Personen wurden ebenfalls nicht verletzt.

7. Vorbeugende Schutzmaßnahmen

Nicht weniger gefährlich, auch wenn es dabei kaum zu einem letalen Ausgang kommen dürfte, sind - allein schon wegen ihrer relativen Häufigkeit - Unfälle, die am Arbeitsplatz durch den unachtsamen Umgang mit radioaktiven Stoffen zustandekommen.

Beiden Gefahrenmomenten gilt es in erster Linie natürlich vorzubeugen. Ist es aber einmal zu einem Unfall gekommen, dann müssen Schutz- und Therapiemaßnahmen getroffen werden, die schon vorher genau im Einzelnen feststehen müssen.

Daß Atomanlagen und ähnliche Einrichtungen der sicherste

Industriezweig sind, (in der Bundesrepublik ereignete sich bisher noch kein Unfall an einem Reaktor!) liegt nicht zuletzt daran, daß wir so strenge Sicherheitsvorschriften besitzen, die auf den Paragraphen des Atomgesetzes und der 1. Strahlenschutzverordnung beruhen.

Man geht dabei von dem sogenannten größten anzunehmenden Unfall aus. Die Regierung des jeweils zuständigen Bundeslandes erstellt einen Katastrophenplan, in dem eine genaue Beschreibung des Standortes mit seinen geologischen, meteorologischen und anderen Umweltsbedingungen und seinen technisch-physikalischen Einzelheiten vermerkt ist. Im besonderen müssen organisatorische Maßnahmen bereits vorher feststehen. Dies erscheint relativ einfach bei Großbetrieben, die über einen eigenen Strahlenschutzdienst und einen eigenen stationären werksärztlichen Dienst verfügen. Grundsätzlich gilt für diese Großanlagen der vom Regierungsbezirk und Betreiber erstellte Katastrophenplan. Bei den "Kleinverwendern" radioaktiver Stoffe, bei denen eine analoge Regelung nicht durchführbar ist, treffen die atomrechtlichen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden mit den vorhandenen Hilfsorganen eine generelle Unfallvorsorge.

Die 1. Strahlenschutzverordnung schreibt in ihren §§ 36 und 46 für das Personal in strahlengefährdeten Betrieben, Institutionen, Kliniken etc. sowohl physikalische als auch medizinische Untersuchungen vor. Deshalb werden in Bayern z.Zt. etwa 6270 Personen ständig ärztlich überwacht, die in insgesamt 588 Institutionen beschäftigt sind. Diese sind neben den kerntechnischen Anlagen in Garching bei München, Gundremmingen, Niederaichbach bei Landshut und Kahl / Main auch Krankenhäuser, moderne Forschungsbetriebe, chemische, biologische, physikalische und technische Institute, sowie die Uhren- und Luftfahrtindustrie in Oberbayern und Schwaben und der Flußspatbergbau im Amberger Revier.

Für einen Katastrophenfall wird zusätzlich die Einrichtung einer Intensivpflegestation im süddeutschen Raum gefordert.
(40) Sie sollte als entsprechendes Auffangkrankenhaus für

schwerste Strahlenunfälle vorallem eine aseptische Behandlungsmöglichkeit, womöglich mit dem Life-island-Zelt, bieten; eine hämatologische Abteilung sollte angegliedert sein. Diese Krankenanstalt müßte aber auch über die baulichen Voraussetzungen verfügen, die die Forderungen des Strahlenschutzes erfüllen. (Abwasserbeseitigung, Abluft, Personenschutz, Dekontaminationsmöglichkeiten, Operationsaal im Kontrollbereich.)

Eine derartige Station könnte auch konventionell mitbelegt werden, ähnlich dem Status eines Seuchenkrankenhauses. Bei der Kontamination mit radioaktiven Nukliden muß grundsätzlich unterschieden werden in eine äußere Kontamination, meßbar durch Filmdosimetrie, Glasdosimetrie u.ä. und einer inneren Kontamination durch Inkorporierung, meßbar durch den Body Counter und die Ausscheidungsanalyse, bei der sich für Routineuntersuchungen die Urinausscheidungsanalyse als ausreichend bewährt hat. (41)

Die äußere Belastung ist leicht zu erkennen durch diverse Warngeräte; man kann sich ihr entziehen, indem man sich aus dem Gefahrenbereich begibt. Die innere Bestrahlung jedoch wirkt fort, bis das Radionuklid entweder durch den natürlichen Stoffwechsel eliminiert wird (sog. biologische Halbwertszeit), oder aufgrund seiner physikalischen Halbwertszeit abgeklungen ist. Erstere kann man durch Gabe von Stoffen wie EDTA, DTPA, Penicillamin u.a. beschleunigen. Über Erfolge dieser Art der Dekorporierung berichtet MÖHRLE. (42)

Mit dem Problem der kontaminierten Verletzung befaßt sich OHLENSCHLÄGER. (43) Bei der zerstörten Hautschränke können selbst kleinste Mengen radioaktiver Substanzen in die verschiedensten Organe gelangen und zu teilweise schweren Allgemeinstörungen führen. Der Verfasser empfiehlt vor der chirurgischen Versorgung das Anlegen einer Staubinde und vorallem das genaue Ausmessen der Wunde. Erstverband und excidiertes Gewebstück sowie die eventuelle Spülflüssigkeit sollen einer Aktivitätsanalyse unterzogen werden.

Als Hilfsmittel zur Analyse von inhalierten Alpha-Strahlern hat sich die Autoradiographie sehr bewährt. (VAANE u.a.(44)) Über den Magen-Darm-Trakt inkorporierte Alpha- und Beta-Strahler werden zumeist mit der Ausscheidungsanalyse nachgewiesen, Gamma-Strahler durch den Body Counter.

Eine Zusammenstellung der Häufigkeit von Inkorporationen in Nordrhein-Westfalen stammt von RAHM.(45) Von 763 untersuchten Personen wiesen 328 eine Inkorporation, vorallem von ^{131}J aus dem Bereich der Medizin und von Tritium bei den übrigen Verwendern, auf die maximal zulässige Körperbelastung wurde nur in 4% der Inkorporationen überschritten. Wenn auch ein Gesundheitsschaden durch diese Inkorporationen bisher nicht aufgetreten sei, so stelle doch die physikalische Überwachung durch Body Counter und Ausscheidungsanalyse einen wertvollen zusätzlichen Sicherheitsfaktor dar. Auf die Notwendigkeit, bei Überschreiten des Grenzwertes für die zulässige Kontamination die Routinekontrollen durch besondere Kontrollen zu ergänzen, wird bereits in den Empfehlungen der ICRP hingewiesen. (46)

Bei stattgehabter Inkorporation von radioaktiven Stoffen mit langer effektiver Halbwertszeit ($T = \frac{T_{\text{phys.}} \cdot T_{\text{biol.}}}{T_{\text{phys.}} + T_{\text{biol.}}}$) empfiehlt OBERHAUSEN (47) regelmäßige Kontrollmessungen, um die Gefahr einer Kumulation von vornherein auszuschalten. Ferner erwähnt er die häufige Anwesenheit von ^{137}Cs bei den Inkorporationsmessungen in Fällen aus der industriellen Anwendung. ^{137}Cs sei bezüglich der Inkorporation das am meisten zu fürchtende Nuklid, da es fast vollständig vom Gastro-Intestinal-Trakt resorbiert werde.

Einen Überblick über die in der DDR durchgeführten Kontrollen von beruflich strahlenexponierten Personen gibt SITZLACK.(48) Das Kontrollsystem umfaßt die innerbetrieblichen Strahlenschutzkontrollen, Richtlinien über die Einstellungs- und Wiederholungsuntersuchungen und die durch ärztliche Spezialuntersuchungen ergänzten normierten Teilfragen einer sogenannten Gesundheitskarte. Besonders hingewiesen wird auf die

Notwendigkeit einer zentralen Lenkung bei der meßtechnischen Auswertung und Klassifizierung der Befunde.

Zum Abschluß kann man sagen, daß im allgemeinen der Schwerpunkt der Kontrolluntersuchungen zur Zeit mehr auf Seiten der physikalischen Untersuchungen zu liegen scheint.

Die bisherigen klinischen Überwachungsmethoden werden wohl in Zukunft durch moderne Untersuchungsmethoden ersetzt werden können, sobald genügend Erfahrungen, insbesondere auf dem Gebiet der Chromosomenanalyse, vorliegen und eine Vereinfachung der Untersuchungstechnik erwartet werden kann.

MATERIAL UND METHODE

Das Kernkraftwerk Grundremmingen

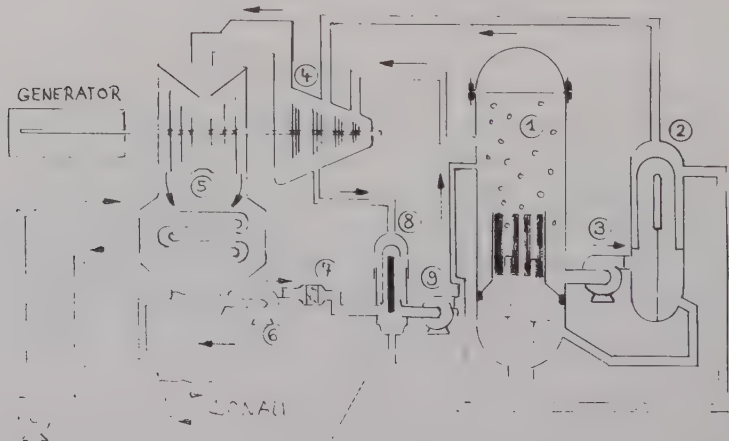
Das Kernkraftwerk RWE - Bayernwerk (KRB) in Grundremmingen an der Donau wurde im Jahre 1966 als erstes Großkernkraftwerk der Bundesrepublik Deutschland mit einer Nettoleistung von 237 MW in Betrieb genommen. Wegen seiner Bedeutung in der Entwicklung für die Kernenergie wurde das Projekt durch die deutsche Bundesregierung und durch die europäische Atomgemeinschaft (EURATOM) gefördert.

Das Kernkraftwerk Grundremmingen ist mit einem Siedewasserreaktor ausgestattet, bei dem das die Bremsstäbe umgebende Wasser durch die bei der Kernspaltung entstehende Wärme so hoch erhitzt wird, daß es zum Sieden kommt. Der dabei entstehende Dampf wird direkt aus dem Reaktordruckgefäß über eine Dampfleitung zur Turbine geführt.

Der weitere Vorgang der Stromerzeugung ist dem eines Dampfkraftwerkes gleich.

Das Reaktordruckgefäß mit seinen Nebenanlagen ist aus Sicherheitsgründen in eine Stahlhülle, das Reaktorgebäude, eingeschlossen.

Die KRB-Anlage besitzt einen Primär- und einen Sekundär-Dampf-Wasser-Kreislauf. (s. Schemazeichnung)



Der Primärdampf wird unmittelbar vom Reaktor 1 zum Hochdruckteil der Turbine 4 geleitet. Der Sekundärdampf entsteht in drei zusätzlichen Dampferzeugern 2, die mit Reaktorwasser beaufschlagt sind. Zwangsumlaufpumpen 3 entnehmen dem Reaktor heißes Wasser und drücken es über die Dampferzeuger 2 wieder zurück zum Reaktor. Der Sekundärdampf strömt ebenfalls in die Turbine an einer Stelle niedrigeren Druckes. Der aus der Turbine ausströmende, entspannte Dampf wird in dem durch Donauwasser gekühlten Kondensator 5 niedergeschlagen. Über die Kondensatpumpen 6, Reinigungsfilter 7, Vorwärmer 8 und Speisewasserpumpen 9 strömt das Wasser zurück zum Reaktor bzw. zu den Dampferzeugern. Einmal jährlich wird der Reaktor abgeschaltet, um verbrauchte Brennstäbe zu entfernen und notwendige Reparatur- und Wartungsarbeiten durchzuführen.

Die untersuchten Personen

Untersucht wurden 9 Männer im Alter von 36-55 Jahren, die zum Stammpersonal zählen und im KRB Gundremmingen als Schlosser tätig sind. Während der Abschaltphase des Reaktors in den Monaten Juni/ Juli 1971 verrichteten sie folgende Arbeiten: Ausbauen und Verpacken von Ventilen am primären Umwälzsystem, Wartungsarbeiten am Kondensator im primären Kreis sowie am offenen Druckgefäß und Reparaturarbeiten am Steuerstabantriebssystem. Die jeweilige Schutzkleidung wurde vom Strahlenschutzverantwortlichen anhand der Aktivitätsmessungen am Arbeitsplatz bestimmt. Die Gesamtarbeitszeit betrug 200 Stunden pro Person.

Außerdem waren bereits nach der Abschaltphase im Sommer 1970 sechs dieser Männer mittels Filmdosimetrie und Urinausscheidungsanalyse untersucht worden. Eine zweite Kontrolluntersuchung, die auch die Ehefrauen miteinfaßt hatte, hatte im März 1971 stattgefunden.

Die Untersuchungstechnik

a) Dosimetrie

Vom Gesetzgeber sind bei Arbeiten im Sicherheitsbereich eines Reaktors zwei verschiedenartige Meßgeräte zur Feststellung der am Körper zu messenden Dosis vorgeschrieben. In unserem Fall wurde zum einen die herkömmliche Filmplakette verwendet, zum anderen ein Glasdosimeter mit 3,7 mm Durchmesser und 6 mm Länge, in Tantalhalterung zum Ausfiltern der niedrigen Energien (80 keV) mit einer Nachweisgrenze von 200 mrem. Es dient im KRB als sogenanntes Unfalldosimeter. Beide Dosimeter wurden während der Reparaturarbeiten in einer Tasche der Arbeitskombination, d.h. in drei Fällen unter dem Vollschtutzanzug getragen.

b) Body Counter

Mit einem Ganzkörperzähler werden inkorporierte Nuklide nachgewiesen, deren Strahlung nicht vom Körper absorbiert wird. Dazu zählen vorallem Gammastrahlen, aber auch Nuklide mit harter Beta-Strahlung, die über ihre Bremsstrahlung nachgewiesen werden können. Die Gamma-Strahlen, die von einem NaJ-Scintillator absorbiert werden, erzeugen in diesem Kristall Lichtblitze, die von einem Sekundärelektronenvervielfacher (Photomultiplier) in elektrische Impulse umgesetzt werden. Da man außerdem die gelieferten Spannungsimpulse nach ihrer Impulshöhe sortieren kann, erhält man somit ein Energiespektrum, das es gestattet, auf die Art des emittierenden Nuklides zu schließen. Es können noch Nuklide bis zu 10^{-5} der im Körper maximal zulässigen Mengen bestimmt werden. Die Meßgenauigkeit ist unter anderem abhängig von der Zeitdauer der Messung und der Abschirmung der natürlichen Untergrundstrahlung.

Sofort nach Beendigung der Reparaturarbeiten wurden die untersuchten Personen zum stationären Body Counter der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung in Neuherberg bei München gefahren, wo die Messungen vorgenommen wurden.

c) Ausscheidungsanalyse

Für Kontrolluntersuchungen auf inkorporierte Nuklide hat sich ferner die Urinausscheidungsanalyse sehr bewährt, denn sie ist nicht nur preiswerter als die Body Counter Untersuchungen, sie erfaßt außerdem auch Alpha- und Beta-Strahler, wenn ein Teil des Urins im sogenannten Methan-Durchflußzähler ausgemessen wird. Für unsere Untersuchungen, bei denen nur Gamma-Strahler, insbesondere radioaktive Cs- Nuklide nachgewiesen werden sollten, war die Messung mit dem Gamma-Spektrometer ausreichend.

Ebenfalls im Anschluß an die Reparaturperiode wurde von den 9 Personen ein 24-Stunden-Urin gesammelt. Je 500 ml dieses Urins wurden zur Trockene eingedampft, der Rückstand mit rauchender Salpetersäure und 30%igem Perhydrol (H_2O_2) naß verascht. Anschließend wurde der noch verbliebene Anteil im 200-Kanal-Gamma-Spektrometer über einen Zeitraum von 1000 Minuten ausgemessen.

Geeicht war das Gerät mit einem Cs-Standard (^{137}Cs , 74 nCi gemessen in 2 Min.)

Als Kontrollpersonen stellten sich 6 Angestellte des Landesinstitutes für Arbeitsmedizin München zur Verfügung, in dessen radiologischem Labor die Messungen ausgeführt wurden.*

d) Blutbilder

Einmal jährlich werden aufgrund des § 46 der Ersten Strahlenschutzverordnung im Rahmen der ärztlichen Untersuchungen Blutbilder angefertigt. In einigen Fällen wurde die turnusmäßige Untersuchung um 4 Monate vorgezogen, sodaß wir je einen Wert 2 Monate vor und 4 Monate nach der Abschaltphase am Reaktor erhielten. Zur Verlaufskontrolle diente der Wert des Jahres 1970.

*Frl. A. Klimek, chemisch-technische Assistentin im Bayr. Landesinstitut für Arbeitsmedizin sei an dieser Stelle für Ihre Unterstützung herzlich gedankt.

ERGEBNISSE

a) Dosimetrie

Aus Tabelle 1 sind die Personendosiswerte für die Filmplaketten und die Glasdosimeter zu ersehen.

(Alle Angaben in mrem)

Tab.1

Fall-Nr.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Filmd.	2300	2540	2190	1720	2760	2680	2790	3050	3010
Glasd.	1900	2600	2200	1000	2500	2750	2200	2400	2300

Dabei zeigt sich eine starke Schwankung der Filmplakettenwerte gegenüber denen des Glasdosimeters. Dies entspricht etwa der bekannten Fehlerquote von 20% und mehr, mit vorwiegender Abweichung nach oben, was als zusätzlicher Sicherheitsfaktor aufgefaßt werden kann. (Veröffentlichung der WHO (8)). Der Vorteil des Glasdosimeters liegt in der schnellen Auswertung (Filmplakette erst nach 4-6 Wochen) und der Möglichkeit abzulesen ohne zu löschen, was die Erfassung einer eventuell kumulierten Dosis ermöglicht. Wegen der größeren Genauigkeit werden bei Vergleichen und Tabellen in dieser Arbeit nur noch die Glasdosimeterwerte genannt werden, wenn es nicht ausdrücklich anders vermerkt ist.

Nach Untersuchungen von EICKELPASCH (49) hat die Dosisbelastung des KRB-Reparaturpersonals im Zeitraum von 1968 bis 1971 um das Zehnfache zugenommen, d.h. von einer Mannrem-Dosis/ Woche von unter 60 mrem auf nahezu 600 mrem. Begründet wird diese Tatsache mit der beinahe quadratisch zunehmenden radioaktiven Verschmutzung des Primärwasserkreislaufes, bedingt durch Ablagerungen an Stellen geringerer Kühlmittelgeschwindigkeit, die speisewasserseitig in die Kreisläufe gelangen, d.h. also aus der Vorwärmerstrecke, in der vorwiegend C-Stahl und Kupfer-Nickel-Legierungen verwendet werden. Die Verringerung der Dosisbelastung des Reparaturpersonals ist ein Problem, auf das später noch einmal kurz eingegangen werden soll.

b) Body Counter

Die Ergebnisse der Body Counter Messungen zeigt Tabelle 2.
(Alle Werte in nCi)

Tab. 2

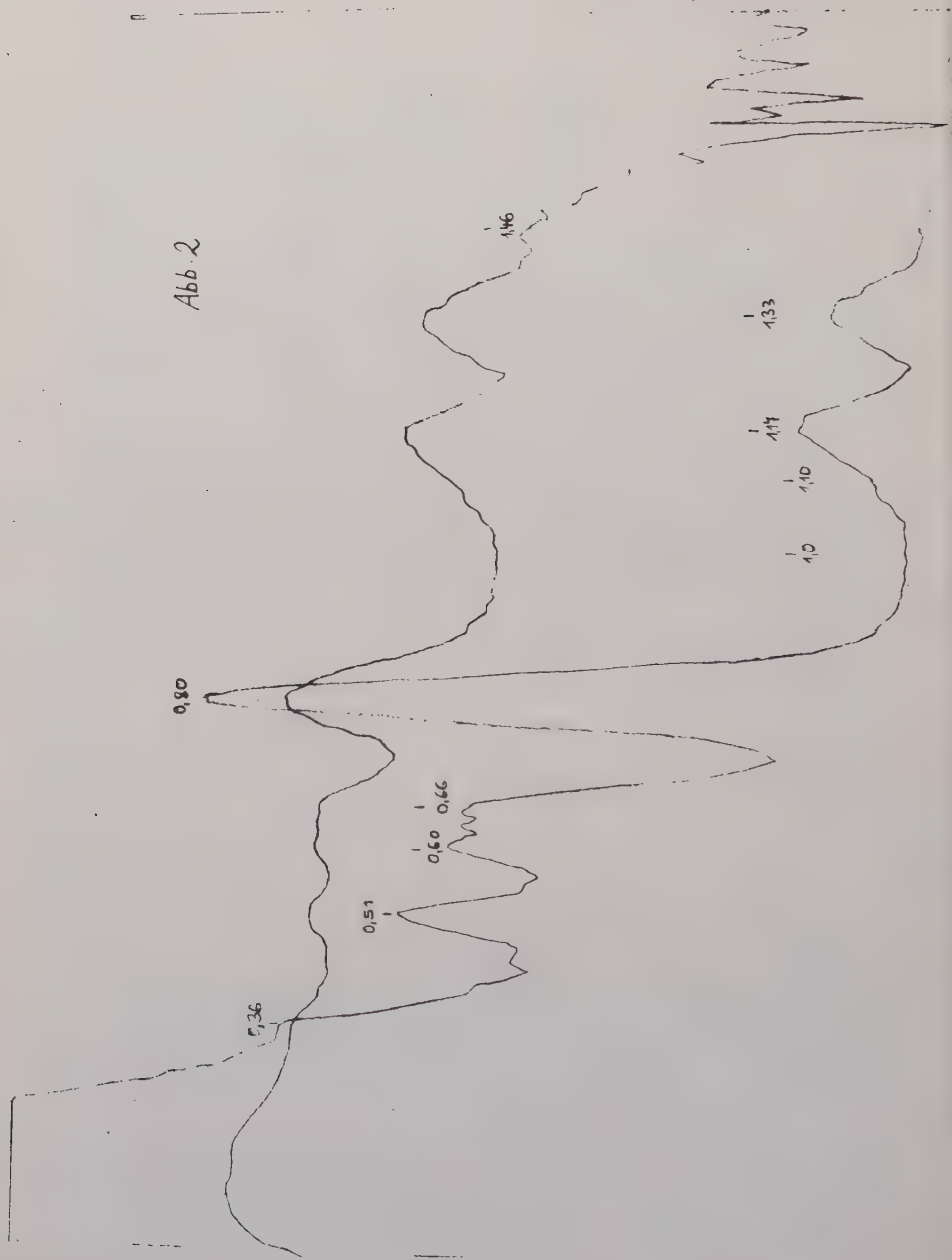
Fall-Nr.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Co-60	330	70	20	100	50	60	40	40	80
Co-58	860	140	--	50	80	110	50	--	60
Cs-134	140	20	40	80	50	60	30	60	20
Cs-137	---	60	20	20	120	--	50	90	40
J-131	-	8	5	1	6	8	20	8	8

Die obere Kurve in Abb. 2 zeigt die Messung mit Null-effekt, die untere das Ergebnis nach dessen Subtraktion. Ausgemessen wurde der Bereich zwischen 0,3 und 1,5 MeV. Dabei wurden die in den Spektren erhaltenen Photopeaks folgenden Nukliden zugeordnet:

1,17 und 1,33 MeV	Co-60
0,8 MeV	Co-58 + Cs-134
0,51 MeV	Co-58
0,6 bis 0,7 MeV (nicht aufgelöst)	Cs-134 + Cs-137
0,36 MeV	J-131

Herrn Dipl. Physiker A. Böhne sei an dieser Stelle für die freundliche Überlassung der Untersuchungsergebnisse gedankt.

Abb. 2



c) Urinausscheidungsanalyse

Zur Berechnung wurde ein ^{137}Cs -Standard mit bekannter Aktivität verwendet, der 16 Sekunden lang ausgemessen wurde. Die Auswertung der Kurven erfolgte durch Ermittlung des Flächenintegrals. (Abb.6)

Die Analyse der Urinproben wurde in der Zeit vom 18.8. bis 3.9.1971 vorgenommen. Da die Urinentnahme bereits am 27.7. stattgefunden hatte, mußte die jeweilige Aktivität für den Entnahmetag rückgerechnet werden. Bei Kenntnis der effektiven Halbwertszeit von Caesium (70 Tage) konnte die entsprechende Aktivität zum Zeitpunkt der Entnahme mit Hilfe einer halblogarithmischen Zeit/Aktivität-Kurve errechnet werden. (Abb. 3)

Die abgebildeten Kurven zeigen das Ergebnis der Messungen von 500 ml Urin nach Veraschung. (Abb. 22/23) Es mußte also bei einer anzunehmenden Tagesmenge von 1500 ml Urin mit dem Faktor 3 multipliziert werden.

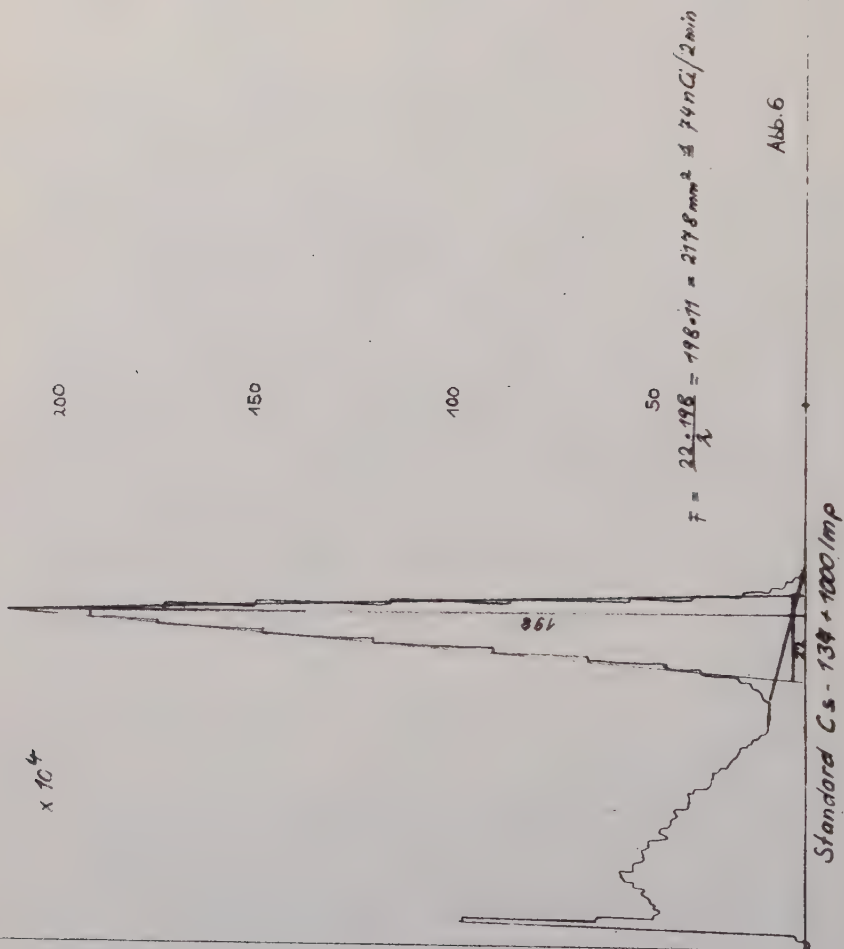
Das Ergebnis zeigt Tabelle 3. Alle Werte in pCi

Tab. 3

Fall-Nr.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Aktivität am 17.7. in 1500 ml	1011	916	527	708	300	239	294	1060	306

Ein Rückschluß auf den Zeitpunkt der Inkorporation ist aus zwei Gründen unmöglich:

1. kann die Gesamtinkorporation die Summe vieler kleiner Einzeldosen während der Reparaturperiode von 6 Wochen gewesen sein, oder sie kann als ein einmaliges Ereignis irgendwann in dieser Zeit stattgefunden haben.
2. ist bekannt, daß nach einer Inkorporation anfangs die biologische Halbwertszeit kleiner ist, daß also zunächst größere Mengen des inkorporierten Nuklides ausgeschieden werden. Eine exakte Angabe über die Steilheit der Kurve $\log \text{Körperaktivität/Zeit}$ kann aber nicht gemacht werden,



90
Kilometer

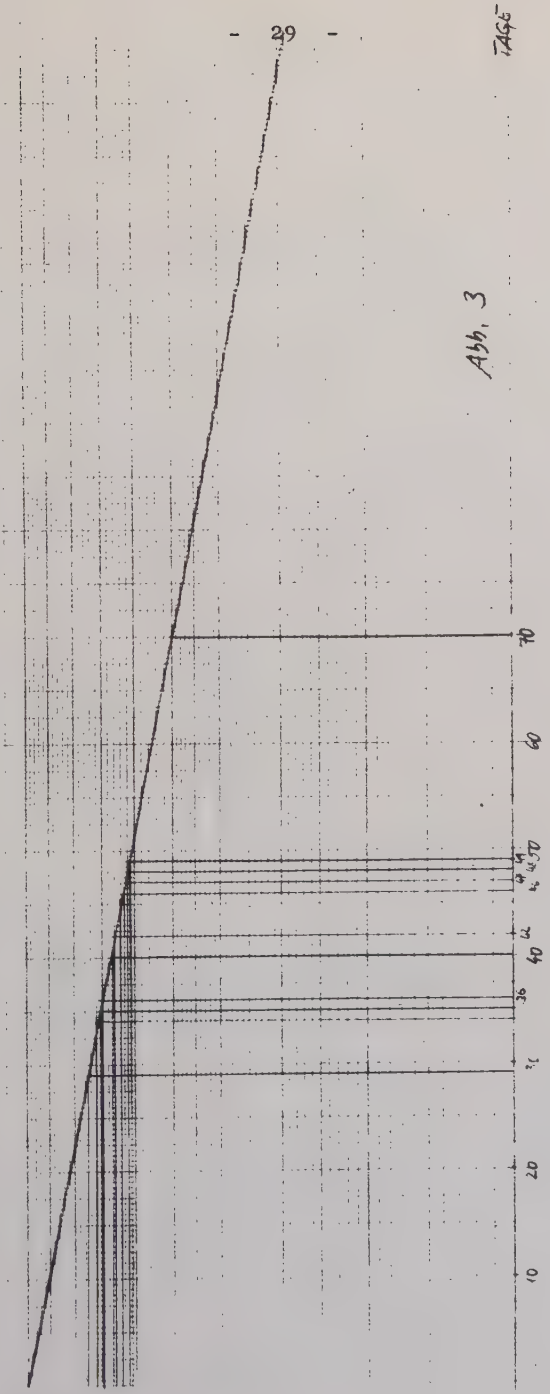


Abb. 3

7495

Nr. 373, A 3

2 x 10⁴ 261/41

150

100

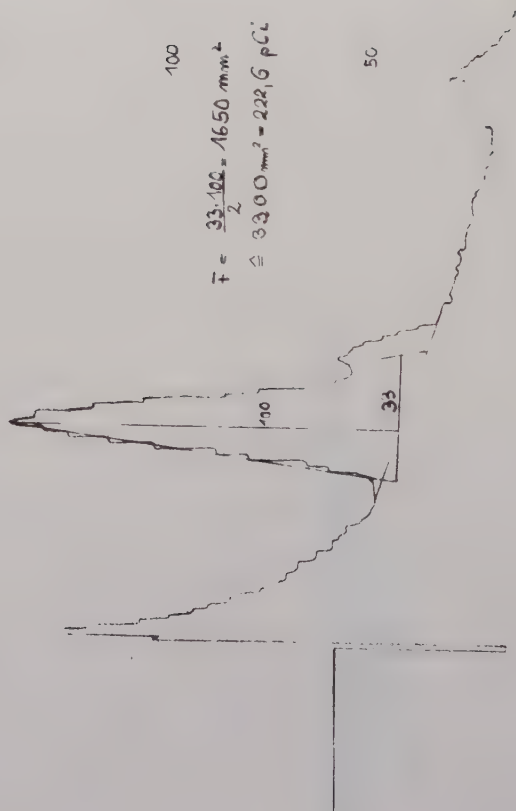
$$\bar{r} = \frac{33 \cdot 100}{2} = 1650 \text{ mm}^2$$

$$\hat{=} 3300 \text{ mm}^2 = 222,6 \text{ pCi}$$

Abb. 22

50

0



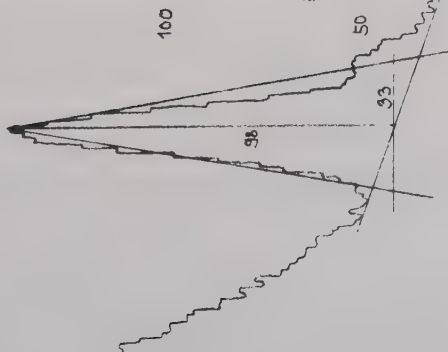
2x 10⁴ 255/41

150

100

50

0



$$T = \frac{33.98}{2} = 16.49 \text{ mm}^2$$

$$\approx 3234 \text{ mm}^2 = 220.0 \text{ pCi}$$

Abb 23

da der Stoffwechsel eines Nuklides Schwankungen unterworfen sein kann. (Siehe auch MÖHRLE (41))

Berechnungen dieser Art setzen immer die Annahme eines sogenannten "Idealmenschen" voraus.

Da der ^{137}Cs -Peak bei 0,792 MeV noch eine "Schulter" zeigte, die im Gammaspektrometer nicht eingeordnet werden konnte, weil das Auflösungsvermögen nicht groß genug ist, wurde auf die Anwesenheit noch eines anderen Nuklides geschlossen. Um diese Annahme zu erhärten, wurden zwei der Proben bei der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung in Neuherberg mit einem Germanium-Lithium-Detektor (Ge(Li)-Detektor) ausgemessen. (Abb.4/5)

Bei dieser guten Auflösung konnte der Bereich von 0,6 bis 0,8 MeV folgendermaßen differenziert werden:

0,605 MeV Cs-134

0,662 MeV Cs-137

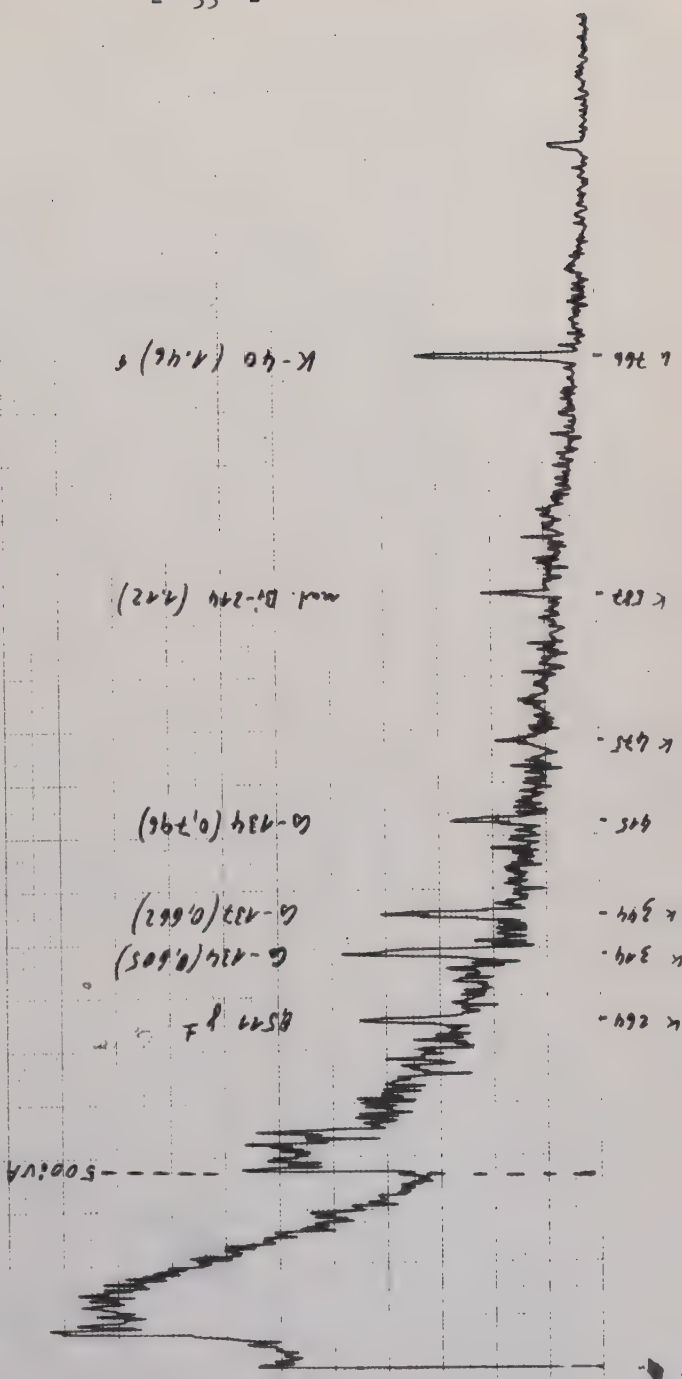
0,796 MeV Cs-134

Es zeigte sich also, daß ein Großteil der Aktivität des Cs-Peaks dem ^{134}Cs zugeordnet werden muß, analog der Ergebnisse der Body Counter Messungen. Ferner konnten noch Spuren der Anwesenheit von natürlichem ^{214}Bi (Peak bei 1,12 MeV) und eine Vernichtungsstrahlung (Peak bei 0,511 MeV) nachgewiesen werden.

^{137}Cs ist ein Spaltprodukt der Uranspaltung und findet sich deshalb u.a. im fall out der Atombombenversuche. Um sicherzugehen, daß das von den Arbeitern inkorporierte ^{137}Cs nicht aus dem fall out stammt, (z.B. durch Genuß von Pilzen, die in reichlichem Maße Caesium speichern) nahmen wir im März 1971 gleichzeitig Urinausscheidungsanalysen von mehreren Arbeitern des KRB und deren Ehefrauen vor, darunter auch diese 9 Personen.

Alle diese untersuchten Personen leben mit ihren Familien in näherer Umgebung des Reaktors. Eine Veränderung der Meßwerte durch die Emission von ^{137}Cs aus dem Reaktorkamin hätte also sowohl Männer wie auch Frauen betroffen.

121
1064
u



1000:VA

Abt. 5

1460 K-40

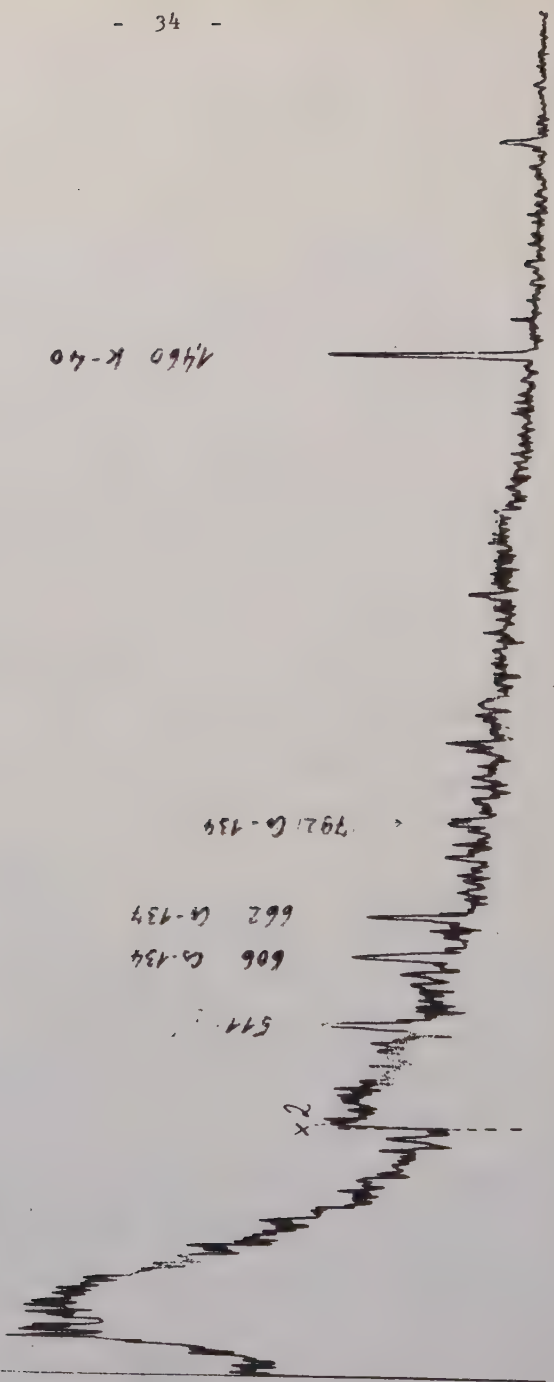
7921 Co-134

662 Co-134

606 Co-134

511

x2



2x 10⁴

85/41

150

100

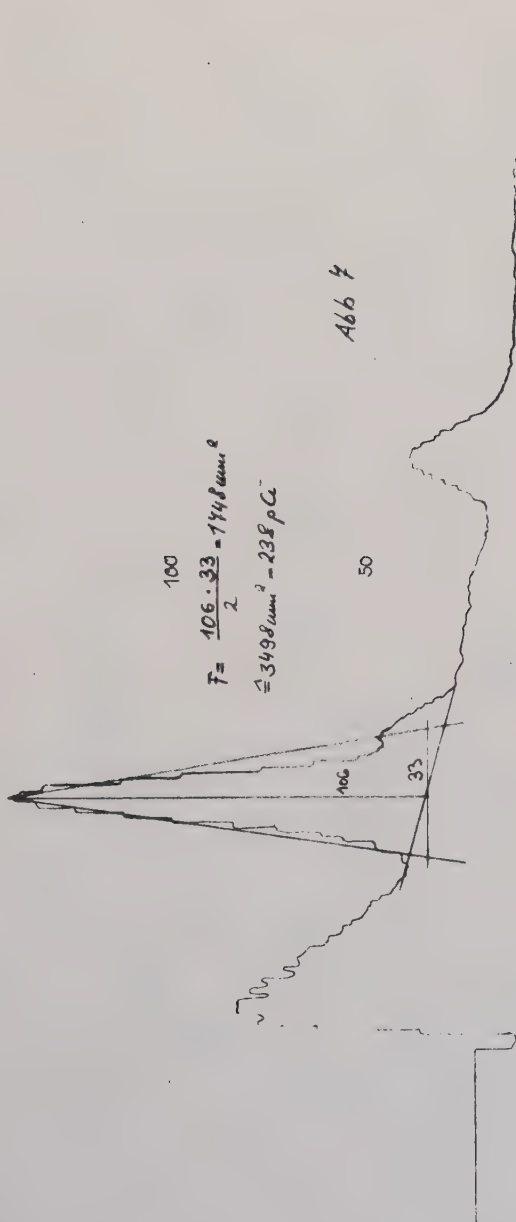
$$F = \frac{106 \cdot 33}{2} = 1748 \text{ mm}^2$$

$$\Delta 3498 \text{ mm}^2 = 238 \text{ pCi}$$

Abb 7

50

0



86/79

$\times 10^4$

100

$$F = \frac{10.14}{2} - 85 \text{ mm}^2$$

$$= 58 \text{ } \mu\text{Ci}$$

Abb. 8



0

$\times 10^4$ 6/42

100

50

0

Abb 24



Das Ergebnis - repräsentativ dafür die Abbildungen 7/8 - zeigt eindeutig, daß eine Inkorporation von radioaktivem Caesium nur im Arbeitsbereich des Reaktors stattgefunden haben kann. Bei keiner der Ehefrauen konnten meßbare Werte eines Cs-Peaks gefunden werden.

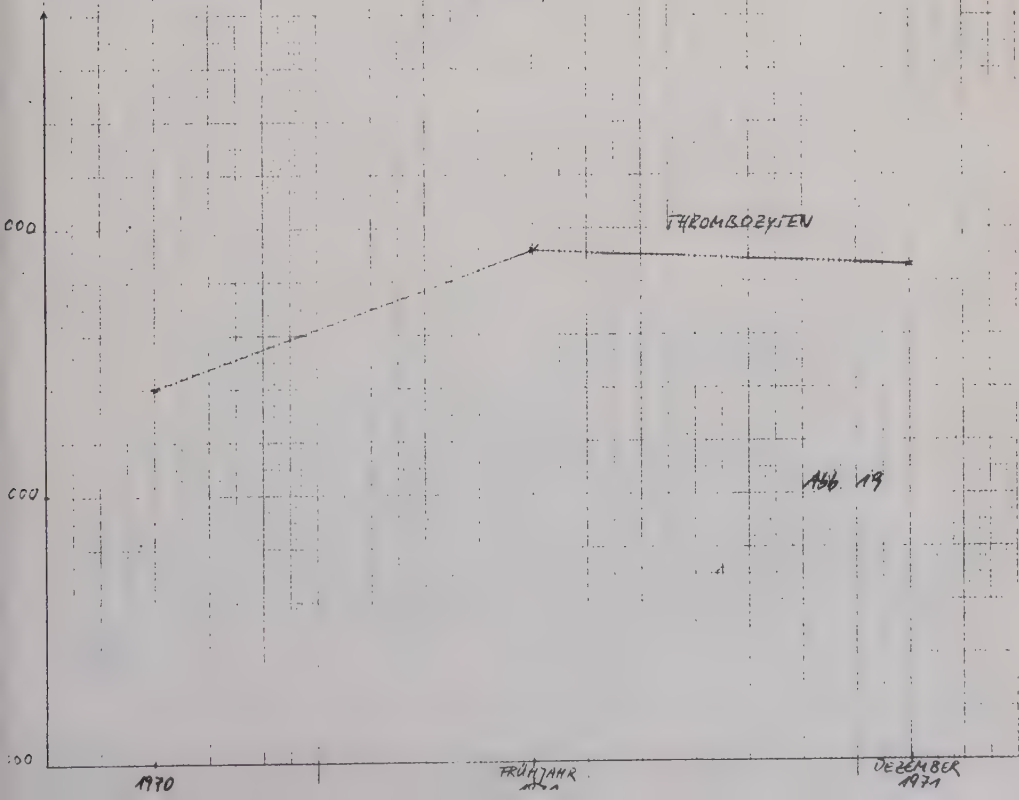
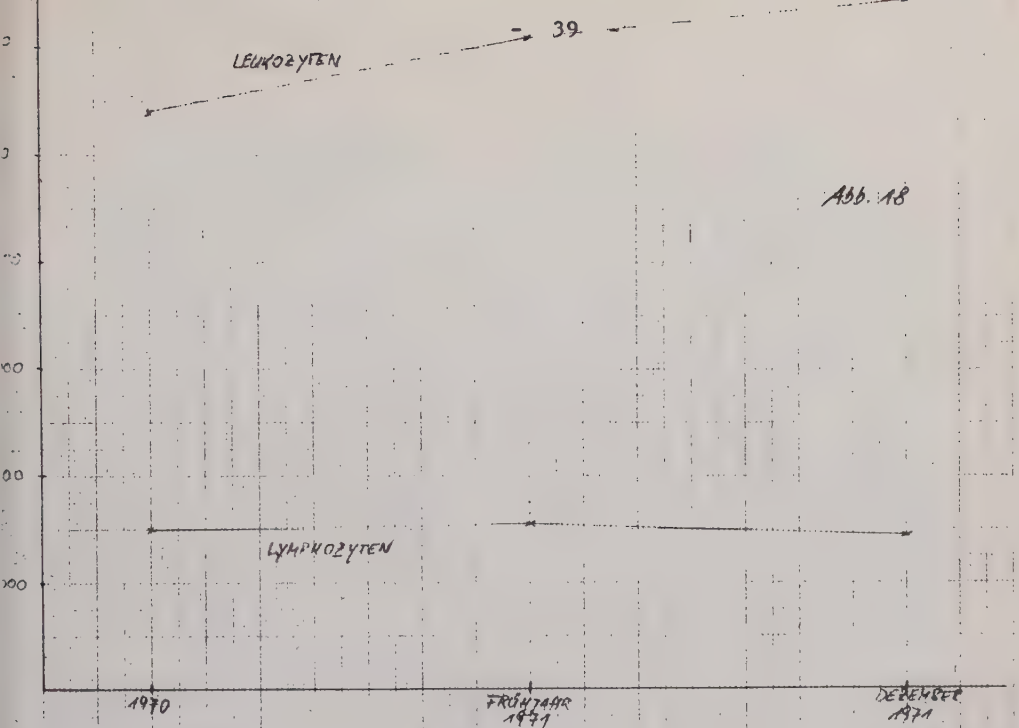
Auch die Ausmessung der Urinproben der 6 Kontrollpersonen ergab in keinem Fall eine nachweisbare Inkorporation eines Radionuklides. (Abb. 24)

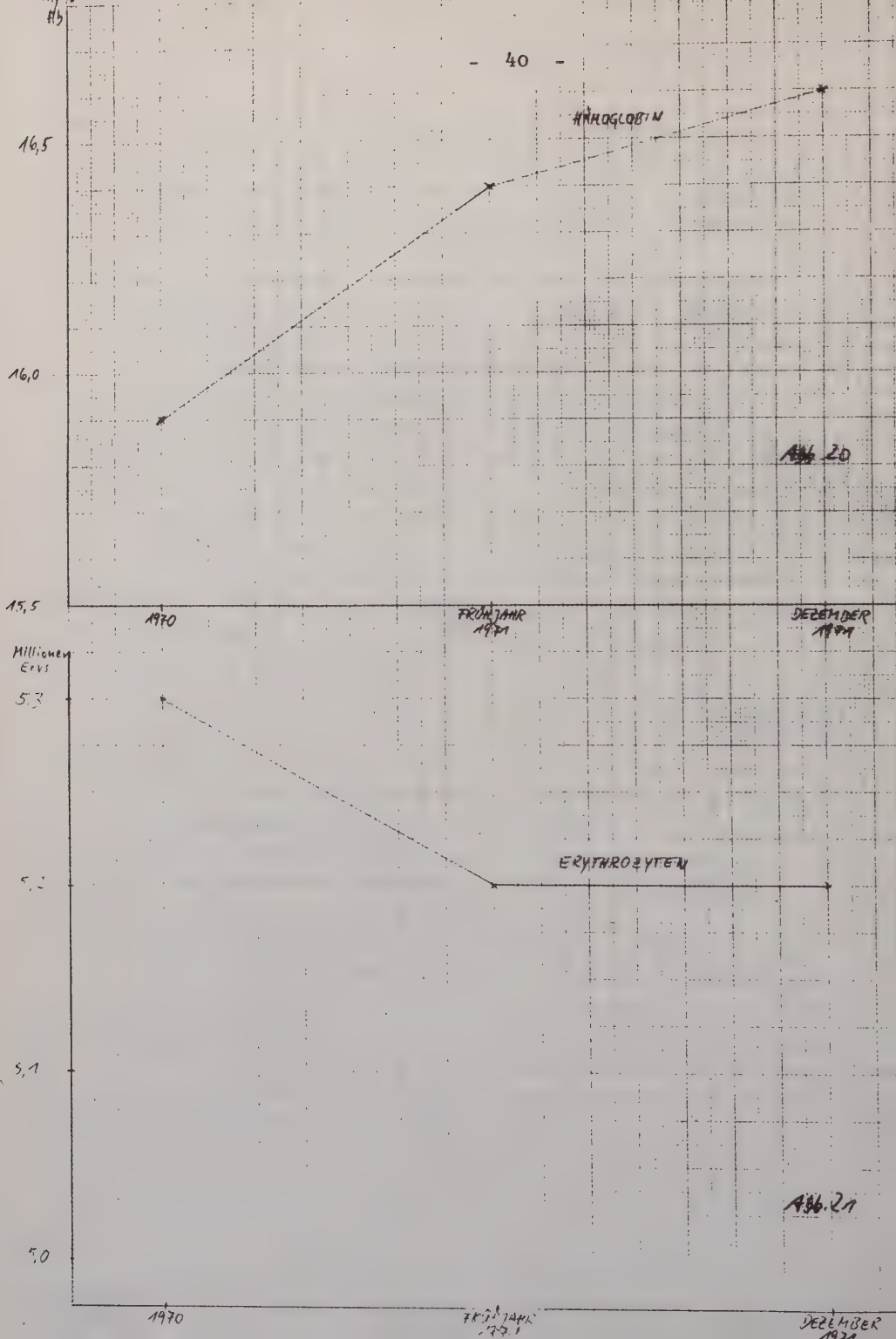
Es ist sicher anzunehmen, daß bei Messung der gleichen Urinproben der Kontrollgruppen im Ge(Li)-Detektor ein geringer, meßbarer Anteil von Cs-Nukliden hätte gefunden werden können. Da wir aber einen Cs-Peak erst in der Größenordnung des Peaks des natürlichen ^{40}K und darüber als relevant betrachteten, verzichteten wir auf eine genaue weitere Ausmessung, zumal es sich ja im Rahmen dieser Arbeit nicht um den Nachweis minimaler Spuren radioaktiven Materials handelt, sondern um den Beweis inkorporierter Nuklide durch die Tätigkeit am Arbeitsplatz in einem Reaktor.

Das ^{134}Cs ist wie ^{137}Cs und ^{138}Cs ein Spaltprodukt, das mit einer relativ hohen Ausbeute von 6,62% bei der Kernspaltung entsteht. (49)

Während aber in der Literatur häufig die Anwesenheit von ^{137}Cs bei Inkorporationsfällen in der Industrie, d.h. vorwiegend in Reaktoranlagen beschrieben wird, findet man das ^{134}Cs kaum erwähnt. Das liegt sicher zum Teil daran, daß für die Routineuntersuchungen nicht der aufwendigere Ge(Li)-Detektor verwendet wird.

Da die Strahlenwirksamkeit des ^{134}Cs im Gewebe um ca. 25% größer ist als die des ^{137}Cs , erscheint die Kenntnis seiner Anwesenheit bei Inkorporationen von Interesse, wenngleich man sich auch in Zukunft mit einem Vielkanal-Spektrometer zur Ausscheidungsanalyse sicher begnügen kann. In Fällen von größeren Inkorporationen sollte man aber der Differenzierungsmöglichkeit den Vorzug geben.





d) Blutbilder

Die Ergebnisse der Blutbilduntersuchungen zeigen die Abbildungen 18-21.

Alle Kurven liegen innerhalb der normalen Schwankungsbreite; eine Aussage über eine strahleninduzierte Schädigung konnte deshalb nicht gemacht werden.

Vergleich von Dosimeter-, Body Counter- und Urinausscheidungsanalysewerten

Wenn man davon ausgeht, daß bei einer biologischen und effektiven Halbwertszeit des Caesiums von 70 Tagen pro Tag ca. 1% der im Körper vorhandenen Aktivität ausgeschieden wird, so sind die Ergebnisse in Tabelle 3 mit dem Faktor 100 zu multiplizieren, um zu dem Wert zu gelangen, der die Aktivität im Körper am Entnahmetag des Urins wiedergibt. Dieser Wert sollte theoretisch dem vom Body Counter gemessenen gleichkommen.

Tab. 4 (Alle Werte in nCi)

Fall.Nr.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Body C. Cs-134+137	140	80	60	100	170	60	80	150	60
Urin Cs-134+137	101	92	53	71	30	24	30	106	31

Die aus Tabelle 4 zu ersiehende Fehlerquote bis zu einem Faktor 6 stammt vermutlich u.a. aus folgenden Quellen:

1. Meßfehler bei der Ausscheidungsanalyse (Ungenauere Bestimmung des Flächenintegrals)
2. Meßfehler beim Ganzkörperzähler
3. Die effektive Halbwertszeit von ^{134}Cs ist um 5 Tage geringer als die von ^{137}Cs
4. Ausscheidung von Caesium auch über die Faeces möglich
5. Es könnte - entgegen der Anweisung - kein Gesamt-Tagesurin gesammelt worden sein; eine vermehrte Ausscheidung

von Caesium im Urin morgens, tagsüber oder abends wäre denkbar

6. Weitere unbekannte Faktoren bei der Elimination eines Stoffes, z.B. seine Verstoffwechselung, Wasserhaushalt des Körpers, Nierenfunktion etc.

Auffallend ist, daß bis auf eine Ausnahme die Ausscheidungswerte zu niedrig liegen; das scheint mehr für ein Überwiegen der "biologisch-dynamisch bedingten" Fehler zu sprechen, insbesondere müßte die Höhe der Ausscheidung über die Faeces geklärt werden.

Unter Berücksichtigung aller Fehlerquellen kann man wohl noch von einer guten Annäherung der Werte sprechen.

Bei der Urinausmessung konnte kein Anhalt für eine Inkorporation von Kobalt-Nukliden gefunden werden. Im Vergleich dazu erbrachte jedoch die Body Counter Untersuchung Werte bis zu 3% der maximal zulässigen Körperbelastung. (MZKB für ^{60}Co 10 μCi , für ^{58}Co 30 μCi) Da die Urinalysen aus technischen Gründen erst einen Monat nach der Entnahme begonnen werden konnten, war offensichtlich - bedingt durch die kurze effektive Halbwertszeit der Co-Nuklide von 8,4 bzw. 9,5 Tagen - die Aktivität bereits soweit abgeklungen, daß kein meßbarer Anteil mehr vorhanden war. Das gilt auch für das ^{131}J mit einer effektiven Halbwertszeit von 7,6 Tagen. Bei der Messung mit dem Ge(Li)-Detektor ergab sich bei 0,511 MeV eine γ -Strahlung, die eine Vernichtungsstrahlung darstellt und als Hinweis auf die Anwesenheit von ^{58}Co aufgefaßt werden kann.

Die Herkunft der Co-Nuklide aus dem Reaktor scheint durch die Untersuchungen von EICKELPASCH (49) geklärt:

Das Material der Umwälzkreisläufe besteht aus normalem Edelstahl. Mittels einer Wischprobe aus dem Inneren eines Sekundärdampferzeugers wurde die Zusammensetzung der Ablagerungen wie folgt bestimmt: ^{58}Co 40%, ^{60}Co 13%, ^{59}Fe 24%, Mn 17%, Zn 6%. Es wurde vermutet, daß die Kobaltisotope, die ja mehr als 50% der Gesamtaktivität ausmachten, aus dem Kobaltanteil des Primärwerkstoffes, aus dem Messing der Kondensatorrohre und über eine n- α -Reaktion aus dem ^{63}Cu des Vorwärmmaterials stammen.

Auf welche Weise die einzelnen Nuklide inkorporiert werden konnten, soll Gegenstand der folgenden Überlegungen sein. Um einen adäquaten Vergleich der Werte der Glasdosimetrie, des Ganzkörperzählers und der Ausscheidungsanalyse zu bekommen, war es nötig, Personen mit gleichen Arbeitsbedingungen zu vergleichen. Als Kriterium für die Gefährdung am Arbeitsplatz wurde die vom Strahlenschutz-Verantwortlichen geforderte Schutzkleidung angesehen. Es wurden drei Gruppen gebildet, die nach dem Gefährdungsgrad eingeteilt waren:

- Gruppe A: Starke Gefährdung -
Vollschutzanzug, Masken, Gummikleidung
- Gruppe B: Mittlere Gefährdung -
Masken, Handschuhe bzw. Schutzkleidung
- Gruppe C: Geringe Gefährdung -
Handschuhe, Schutzanzug

Die Arbeiten der Gruppe A fanden ausschließlich am Steuerstabantriebssystem und am primären Umwälzsystem statt.

Gruppe B umfaßt Arbeiten am Druckgefäß (einschließlich Öffnen) und ebenfalls am primären Umwälzsystem.

Die Arbeiter der Gruppe C waren vorwiegend mit dem Verpacken von Ventilen im primären und sekundären Kreis sowie mit Arbeiten am Kondensator beschäftigt.

In den Tabellen 5-7 sind alle Ergebnisse noch einmal gruppenweise zusammengestellt.

(Die Werte für die Dosimetrie in mrem, für die Inkorporationsmessung in nCi)

Tab. 5

Fall	Dosis	Body Counter		Urin
		Co	Cs	Cs
VI	2750	170	60	23,9
II	2600	200	80	91,7
V	2500	130	170	30,0

Gruppe A

Tab. 6

Fall	Dosis	Body Counter		Urin
		Co	Cs	Cs
I	1900	1190	140	101,1
VII	2200	90	80	29,4
III	2200	20	60	52,7

Gruppe B

Tab. 7

Gruppe C

Fall	Dosis	Body Counter		Urin
		Co	Cs	Cs
IV	1000	150	100	70,8
IX	2300	140	60	30,6
VIII	2400	40	150	106,0

Um die Gruppenspezifität deutlicher hervorzuheben, wurden die Mittelwerte herausgegriffen und miteinander verglichen. (Abb. 9-11)

Bei den Dosimeterwerten ist mit wachsender Gefährdung auch eine Zunahme der äußeren Strahlenbelastung zu verzeichnen; vorallem hebt sich die Gruppe A eindeutig ab. Bei den Body Counter Messungen läßt der hohe Wert für Radiokobalt in einem Fall der Gruppe B den Mittelwert unverhältnismäßig hoch erscheinen; die Inkorporation von radioaktivem Caesium war bei dieser Untersuchung in allen drei Gruppen annähernd gleich groß, während die Urinausscheidungswerte für Caesium einen leichten Anstieg umgekehrt proportional zur äußeren Belastung zeigten.

Man könnte annehmen, daß beim Tragen eines Vollschutzanzuges mit Masken und Gummikleidung die Inkorporationsgefahr am geringsten ist. Inkorporationen würde man am ehesten vermuten bei Arbeiten ohne Maske.

Die Ergebnisse aber zeigen, daß sowohl Inkorporationen wie auch äußere Belastung noch von anderen Faktoren abhängen müssen.

Solche sind insbesondere gegeben durch die Art, wie sich die Arbeiter nach Arbeitsschluß ihrer Schutzkleidung entledigen. Da die Vollschutzanzüge ein überaus großes Gewicht haben und an ihrer Oberfläche sehr stark kontaminiert sind, (die Arbeiten müssen zum Teil so verrichtet werden, daß stark kontaminiertes Wasser aus dem Primärkreislauf über Kopf und Körper der Arbeitenden flutet) wird eigenes Personal benötigt, welches des Arbeitern aus dem Schutzanzug hilft.

Dies scheint der entscheidene Augenblick zu sein für eine Kontaminierung, da sich Berührungen mit der Außenseite des Anzuges kaum vermeiden lassen.

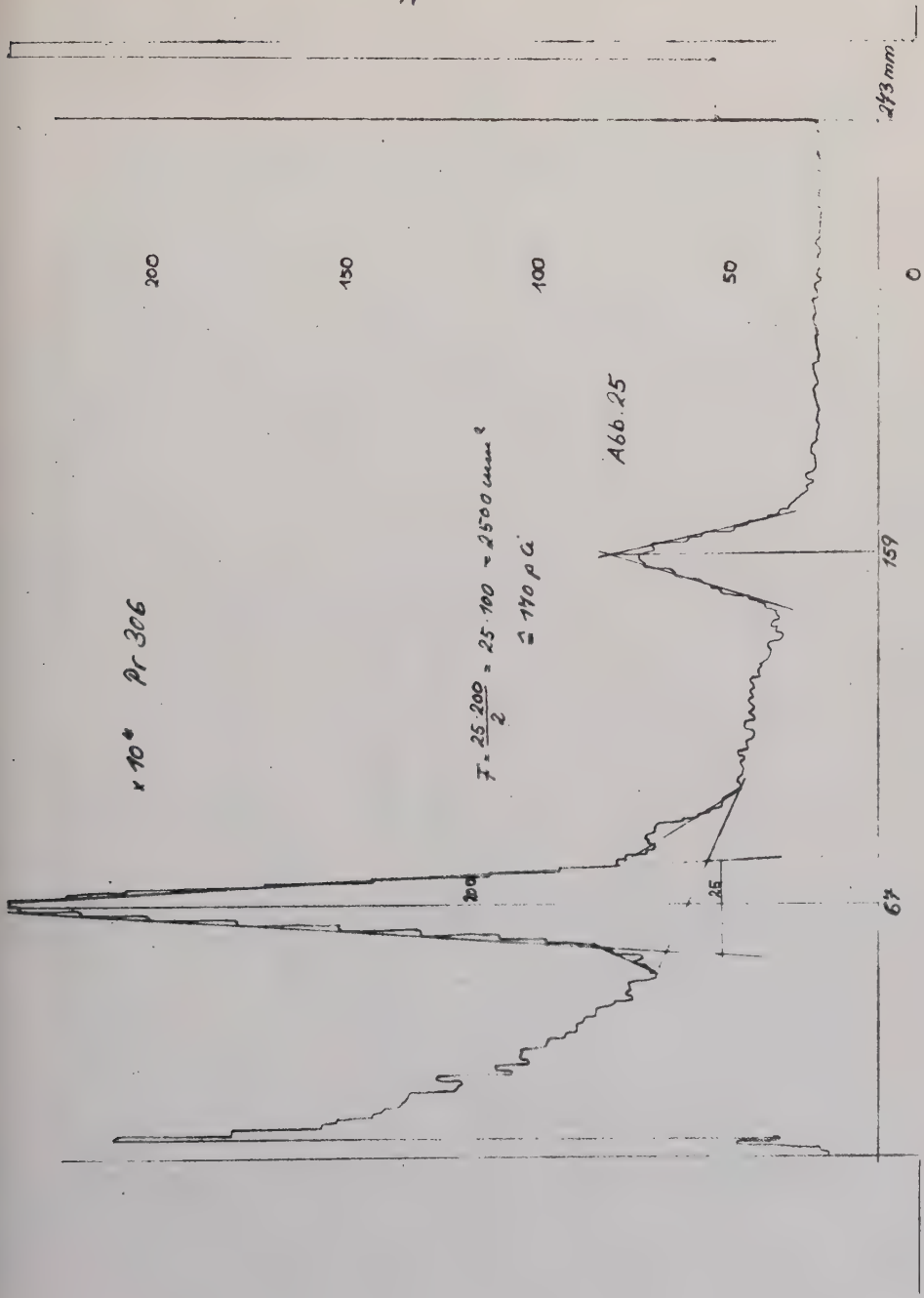
Da die Gesichtsmaske in unseren Fällen nicht mit dem Schutzanzug verschweißt war, besteht auch hier über geringe Undichtigkeiten die Gefahr einer Inkorporation.

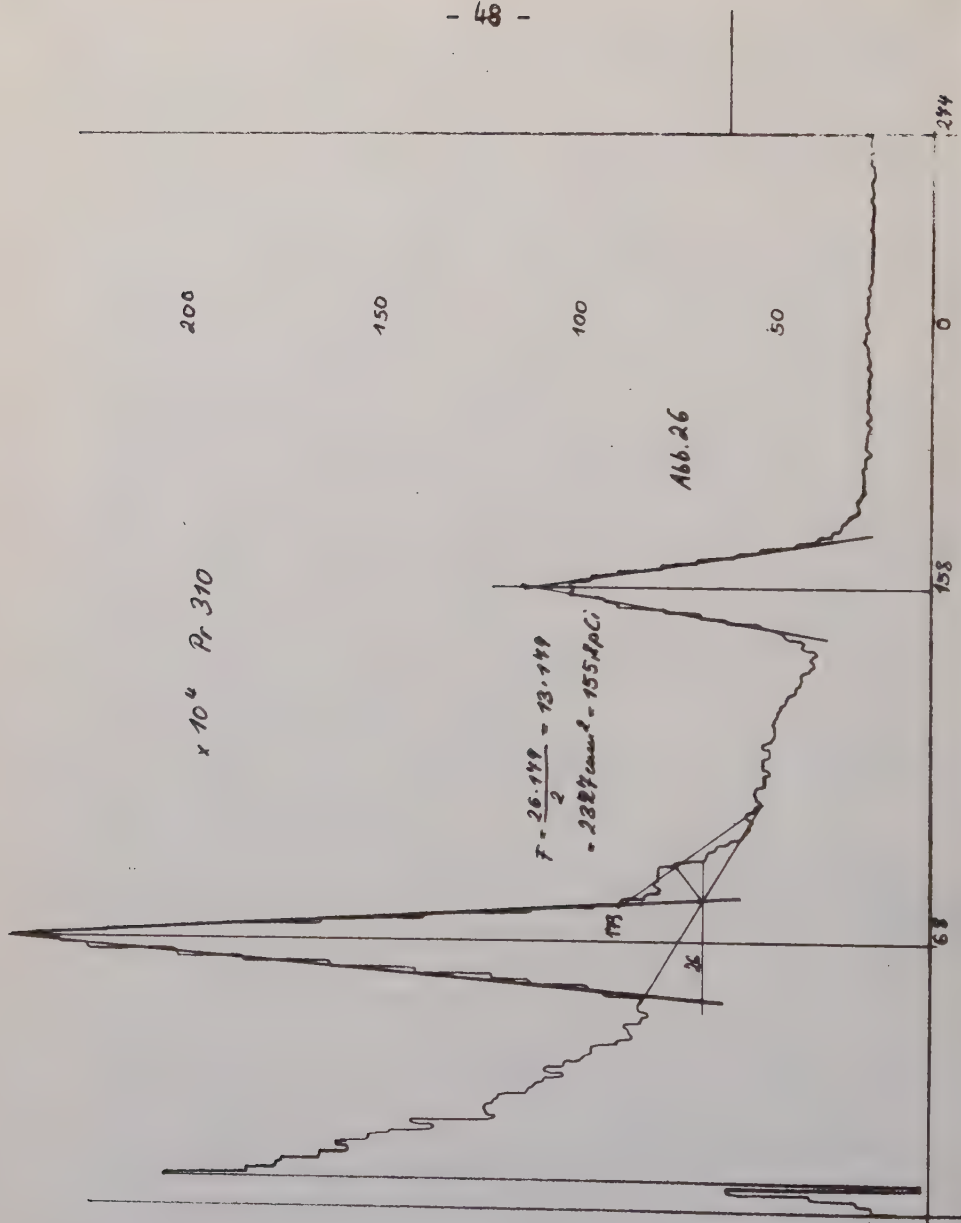
Eventuell beruhte der hohe Wert von inkorporierten Cs- und Co-Nukliden bei gleichzeitigem niedrigen Dosimeterwert in einem Fall der Gruppe B auf solch einer Undichtigkeit.

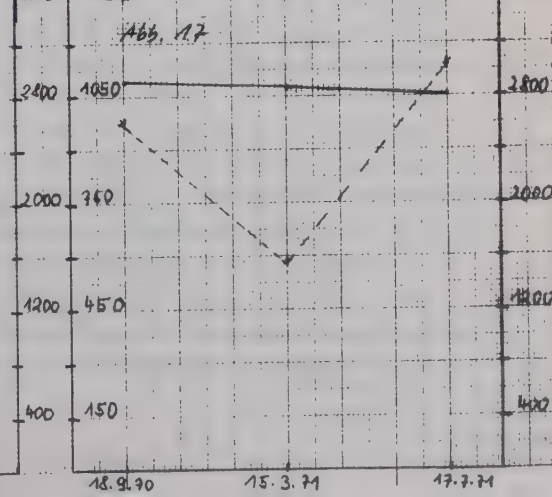
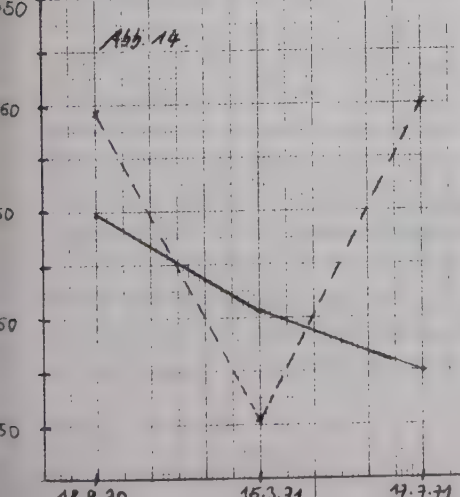
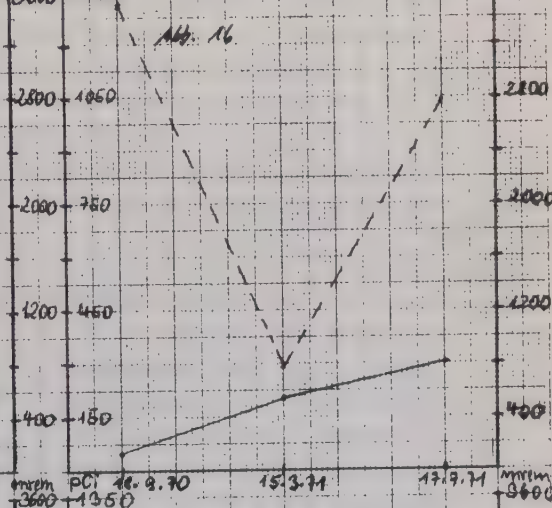
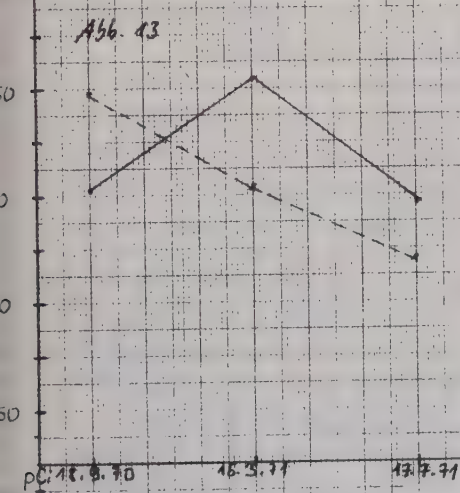
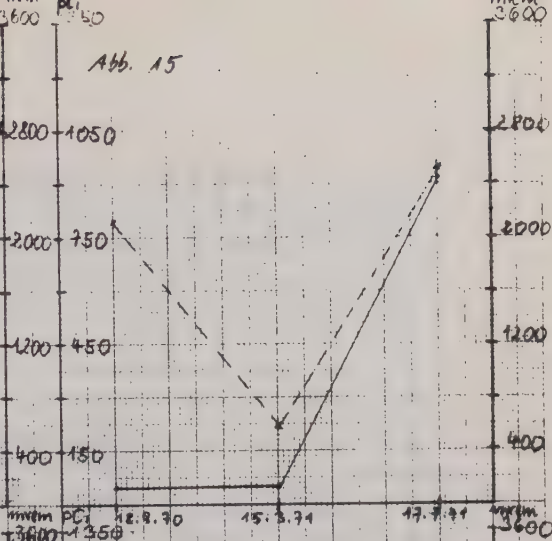
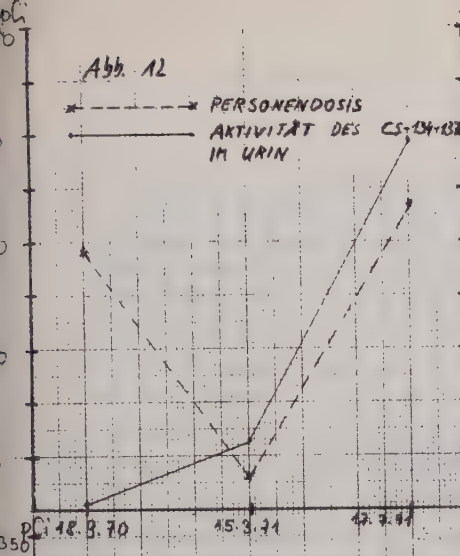
Beachtenswert ist noch, daß in Gruppe C, also im Bereich der angeblich geringsten Gefährdung, zwei Arbeiter eingesetzt wurden, die bereits in den ersten 5 Monaten des Jahres 1971 Dosen von 3060 bzw. 2170 mrem (Filmdosimeterwert) erhalten hatten und offensichtlich geschont werden sollten. Dennoch hatte einer von ihnen nach Beendigung der Reparaturarbeiten bereits seine zulässige Jahresdosis überschritten, der andere lag mit 4780 mrem knapp darunter. (Die Jahreshöchstosis für beruflich strahlenexponierte Personen beträgt 5 rem) Auch die Werte der Inkorporationsmessungen waren im Verhältnis zu den anderen Arbeitern sehr hoch.

Bereits zur Abschaltphase 1970 wurden von uns im September des gleichen Jahres Urinausscheidungsmessungen vorgenommen. (Abb. 25/26) Sechs dieser Arbeiter waren auch 1971 wieder bei den Reparaturarbeiten dabei. Die während dieser Zeit empfangene Personendosis und die Werte der Ausscheidungsanalyse wurden in ein Diagramm eingetragen, zusammen mit den Werten von 1971, sowie mit den Ergebnissen der am 15.3.1971 vorgenommenen Kontrolluntersuchungen, die, wie vorher erwähnt, zur Ausschaltung von regionären und alimentären Unterschieden auch die Ehefrau miterfaßt hatten. (Abb. 12-17)

Aus den Abbildungen 13 und 17 ist zu ersehen, daß die beiden soeben genannten Arbeiter mit den hohen Dosis- und Inkorporationswerten bereits bei den Reparaturarbeiten 1970 hohe Werte bei der Ausscheidungsanalyse aufwiesen. Darüber hinaus zeigten sie auch die mit Abstand höchsten Werte bei den Kontrollmessungen im Frühjahr, nachdem bei ihnen auch zu dieser







Zeit höhere Personendosen gemessen worden waren.

Es handelt sich dabei um eine - wenn auch geringe - innere und äußere Kontamination. Erstere konnte durch die Ausscheidungsanalyse, letztere durch das Filmdosimeter nachgewiesen werden.

DISKUSSION DER ERGEBNISSE

1. Vergleich mit der Literatur

Zunächst einmal sollte festgehalten werden, daß alle von uns ermittelten Werte weit unter der maximal zulässigen Körperbelastung (MZKB) lagen. Wir fanden als höchsten Wert 0,86 μCi Co-58, das sind 2,9% der MZKB und 0,33 μCi Co-60, das sind 3,3% der MZKB. Für die beiden Cs-Nuklide liegen die Werte noch günstiger, sie betrugen weniger als 1% der MZKB.

In der Statistik von RAHM (45) erreichen mehr als die Hälfte der festgestellten Inkorporationen nicht 1% der MZKB.

Bei Untersuchungen im Landesinstitut für Arbeitsmedizin Berlin (zitiert nach KLESSE (50)) wurde festgestellt, daß fast nirgends die zulässige Grenze überschritten worden war, wenn sich auch in vielen Fällen der Nachweis einer Inkorporation erbringen ließ, insbesondere im medizinischen Bereich.

Ähnliches berichtet auch OBERHAUSEN (47) aus dem Institut für Biophysik der Universität des Saarlandes. Er stellt fest, daß aufgrund der großen Empfindlichkeit der Geräte sich immer Inkorporationen nachweisen ließen, und daß es auch nicht möglich sei, diese Inkorporation absolut zu vermeiden. Er fordert deshalb, ein vernünftiges Verhältnis zwischen der Strahlenbelastung des Personals einerseits und dem dafür erforderlichen Aufwand an Strahlenschutz andererseits herzustellen.

Die Verhältnismäßigkeit zwischen Zweck und Mittel diskutiert auch KELLER (51), der die potentielle Inkorporationsgefahr und ein sogenanntes probabilistisches Umgangsrisiko zusammengefaßt als effektive Inkorporationsgefahr - in Beziehung setzt zu den erforderlichen Sicherheitsmaßnahmen.

Wenn man davon ausgeht, daß jede vermeidbare Bestrahlung auf jeden Fall zu hoch ist, (OESER u.a. (52)) so muß man aber sagen, daß Inkorporationen - und seien sie auch noch so gering - noch zu häufig vorkommen. (ZIMMER (56))

Die Gefahr von Überdosierungen bei Reparatur- und Wartungsarbeiten scheint zuzunehmen. (EICKELPASCH (49)) Ob damit auch die Zahl und die Höhe der Inkorporierungen ansteigen, konnte anhand unserer wenigen Untersuchungen nicht geklärt werden. Auf jeden Fall erweisen sich die Inkorporationsmessungen als besonders wertvolle Präventivmaßnahmen, wenn sie in regelmäßigen Abständen zum Erkennen einer eventuellen Akkumulation von Dosen durchgeführt werden. Sie sind nach KIEFER (53) fast noch wichtiger als die Personendosimetrie, da diese immer nur Monitore oder Anlagen ergänze, die das Personal auch ohne Personendosimeter rechtzeitig vor Gefahren warnen.

Die ärztlichen Nachuntersuchungen treten demgegenüber eindeutig in den Hintergrund. Im klinischen Bereich hofft man auf die Vereinfachung der Chromosomendiagnostik und auf ihre Vervollkommnung als eventuelles spezifisches "Dosimeter" in Hinsicht auf die Strahlenwirkung im Bereich kleiner und kleinster Dosen.

Inwieweit die angeführten spezifischen Blutuntersuchungen einen Aussagewert besitzen, muß abgewartet werden. Noch gibt es darüber zuviele divergierende Meinungen, während sich bei der Chromosomendiagnostik doch der größte Teil der Forscher bereits auf die Existenz eines Strahlenschadens auch nach kleinsten Dosen geeinigt hat, wenn auch über die Höhe der Dosis und die Art der Schäden keine einheitliche Meinung herrscht.

Mehrere Autoren in der Bundesrepublik (u.a. MÖHRLE (54) in Karlsruhe, HOLTHUSEN (55) in Hamburg, ZIMMER (56) und FRENZEL (57) in München und KLESSE (50) in Berlin) vertreten die Ansicht, daß eine bundesweite zentrale Überwachungs- und Registrierstelle notwendig ist, die alle Untersuchungsdaten speichert und verwertet, möglichst mittels Datenverarbeitungssystem. Erst so würde ein Überblick gewährleistet, der es er-

möglichst, sinnvolle Überwachungsmaßnahmen durchzuführen und unnötige, weil veraltete oder im Verhältnis zum Ergebnis zu aufwendige, in Zukunft zu verlassen.

Ferner wird von ZIMMER (56) die Einrichtung eines einheitlichen Strahlenpasses für jeden, der mit offenen radioaktiven Stoffen umgeht, gefordert, ähnlich, wie er von einigen Großfirmen und der Industrie ausgegeben wird. Er sollte alle wichtigen persönlichen, anamnestischen sowie physikalischen und klinischen Daten enthalten.

Eine zentrale Erfassung der im Strahlenpaß vermerkten Werte ist vorallem deshalb notwendig, da es viele Arbeiter von Fremdfirmen gibt, die Reparaturarbeiten am Reaktor verrichten und sofort im Anschluß daran in einem anderen Bundesland zu ähnlichen oder gleichen Arbeiten herangezogen werden und so ständig eine Strahlenbelastung erfahren, die bisher kaum kontrollierbar war. Nach einer Untersuchung im Ganzkörperzähler des Kernforschungszentrums Karlsruhe 1969 (58) wurden bei 1497 Messungen nur in 0,94% Inkorporationen gefunden, bei 362 Arbeitern aus Fremdfirmen konnten jedoch fast 30% Inkorporationen festgestellt werden. Das unterstreicht die große Gefährdung dieses Personenkreises. Gerade hier besteht die Gefahr der dauernden Summation und Kumulation von Einzeldosen. FROST (59) schreibt bereits 1960 in seinem Buch "Praktischer Strahlenschutz": "Bei Arbeiten am Reaktor selbst kann es gelegentlich zu Überexpositionen kommen. Es ist dann eine Frage der Organisation, den vermehrt belasteten Personenkreis in Ausgleichszeiten mit inaktiven Arbeiten zu beschäftigen."

Da aber, teils aus Unwilligkeit, teils aus Nachlässigkeit der Fremdfirmen und deren Personals eine Kontrolle der Exposition und Inkorporation dieser sicherlich bei jeder Reparaturarbeit gefährdeten Arbeiter bisher nur ungenügend möglich war, würde die Schaffung einer zentralen Registrierstelle ohne Zweifel von großen Nutzen sein.

Schlußfolgerung in Bezug auf die weitere Überwachung

Welche Schlußfolgerungen lassen sich aus den Ergebnissen unserer Untersuchungen ableiten?

Zunächst kann man sagen, daß die von den Arbeitern während der Reparaturperiode empfangene Dosis zwar unterhalb der zulässigen Werte nach der 1. Strahlenschutzverordnung lag, jedoch aus den vorhergenannten Gründen noch niedriger gehalten werden sollte.

Dabei erscheint in Zukunft die Inkorporationsüberwachung als wichtigste Präventivmaßnahme.

Es wurde festgestellt, daß es bei Reparaturpersonal zu nachweisbaren Inkorporationen gekommen war.

Die Senkung der Personendosis und der Inkorporationsraten ist eine Aufgabe für die Zukunft, die unter anderem gelöst werden könnte durch

1. Verringerung der Kontamination der wartungsbedürftigen Teile, z.B. durch die Anwendung einer Dekontaminationslösung; ferner sind bei Bau und Planung weiterer Kernkraftwerke Vorkehrungen zu treffen, die die radioaktiven Ablagerungen weitgehend verhindern.
2. Erforschung des Kontaminationsvorganges während der Arbeit und beim Ablegen des Schutzanzuges, um so geeignete und zielgerichtete Maßnahmen zur weitmöglichen Verhinderung einer inneren und äußeren Kontamination treffen zu können.
3. Bauliche Auflagen bei Reaktorneubauten in Hinsicht auf den Hygienetrakt, insbesondere den Dekontaminationstrakt und das Schleusensystem für maximal 300 Personen (bei ca. 150 Personen Stammpersonal) zur Aufnahme der Arbeiter aus Fremdfirmen.

Ferner wäre die schon seit langem geforderte bundesweite zentrale Erfassung aller Meß- und Untersuchungsdaten von Personen, die mit offenen radioaktiven Stoffen Umgang haben, angebracht, insbesondere auch der Personen, die nur vorübergehend in jeweils einem kerntechnischen Betrieb als Angehörige einer Fremdfirma tätig werden.

Für die zuletzt genannten Personen sollte der Besitz eines einheitlichen Strahlenpasses sowie die Auswertung seiner Werte vorgeschrieben werden, um Überexpositionen und eventuelle Inkorporationen rechtzeitig zu erkennen, damit es nicht zu einer schädlichen Summation und Kumulation von Einzeldosen kommen kann.

Untersuchungen, die im Verhältnis zum Ergebnis zu aufwendig sind, sollten bald zugunsten neuerer spezifischer Methoden verlassen werden.

Es soll nicht versäumt werden, auf Lücken in dieser Arbeit hinzuweisen.

Die Verarbeitung größeren Personenmaterials scheiterte in erster Linie an technischen Schwierigkeiten. So mußten wir uns auf 9 Personen beschränken, für statistische Erhebungen eine undiskutable Zahl. Auch häufigere Messungen, die eine bessere Verlaufskontrolle ermöglicht hätten, konnten nicht durchgeführt werden.

Die Anfertigung von Blutbildern vor, kurz nach und in einigen Abständen nach der Abschaltphase hätten sicher kein neues Ergebnis gezeigt, hätten aber doch das Bild abrunden können.

Da die untersuchten Personen von uns während der Arbeitszeit untersucht werden mußten, konnten längere und aufwendige Spezialuntersuchungen ohne Störung des Ablaufes des Arbeitsprozesses nicht vorgenommen werden. Mathematisch exakte Berechnungen unter Berücksichtigung aller Inkorporationskriterien, insbesondere Kenntnisse über die Art der Verteilung der einzelnen Nuklide im Körper, hätten genauere Ergebnisse erbracht.

ZUSAMMENFASSUNG

Anhand der Literatur wird der derzeitige Stand auf dem Gebiet der klinischen und physikalischen Maßnahmen zur Strahlenschutzüberwachung aufgezeigt.

Neun zum Stammpersonal eines Kernkraftwerkes zählende Arbeiter wurden nach der im jährlichen Turnus durchgeführten Abschaltperiode am Reaktor zu Reparatur- und Wartungszwecken auf mögliche Inkorporationen untersucht.

Als Kontrolle dienten sechs nicht im Bereich eines Reaktors lebende Personen.

In einer zweiten Kontrolle wurden die Arbeiter zusammen mit ihren Ehefrauen auf inkorporiertes ^{137}Cs untersucht, um regionäre und alimentäre Unterschiede auszuschließen. Kontrollpersonen und Ehefrauen wiesen kein meßbares ^{137}Cs im Urin auf.

Die Inkorporationsmessungen durch Ganzkörperzähler und Ausscheidungsanalysen zeigten bei den neun Arbeitern eine stattgehabte Inkorporation von ^{58}Co , ^{60}Co , ^{134}Cs , ^{137}Cs und ^{131}J . Alle Werte lagen unter 4% der MZKB.

Es wird auf die Gefahr einer Summation und Kumulation solcher Dosen hingewiesen, die sich leicht einstellen kann, wenn zu Fremdfirmen gehörige Arbeiter diese Reparaturarbeiten verrichten und im Anschluß daran an einem anderen Reaktor in einem anderen Bundesland arbeiten, ohne daß die empfangenen Dosen und Inkorporationswerte kontrollierbar sind. Dies wird als ein gewichtiger Grund für die Einführung eines einheitlichen Strahlenpasses und einer zentralen Registrier- und Überwachungsstelle angesehen.

LITERATURVERZEICHNIS

- 1) Rostoski, Saupe,
Schmorl
Die Bergkrankheit der Erzberg-
leute in Schneeberg in Sachsen
Zeitschr.f.Krebsforschung, 23, 4/5
360-384 (1926)
- 2) Rajewsky, B., A. Schraub,
G. Kahlau
Experimentelle Geschwulsterzeugung
durch Einatmung von Radiumemanation
Naturwissenschaften 31, 170 (1943)
- 3) Lacassagne, A., R.
Vincent
Sarcomes provoques chez des lapins
par l'irradiation d'abces à strepto-
bacillus laviae. Compt. Soc. Biol.
(Paris) 100, 249 (1929)
- 4) Lacassagne, A.
Conditions, dans lesquelles ont été
obtenus, chez le lapin, des cancers
par action des Rayons X sur des
Foyers inflammatoires. Compt. Rend.
Soc. Biol. (Paris) 112, 562 (1933)
- 5) Glasser, O.
Wilhelm Conrad Röntgen und die Ge-
schichte der Röntgenstrahlen
Springerverlag Berlin (1931)
- 6) Mutscheller, A.
Physical standards of protection
against Roentgen-Ray dangers.
Amer. J. Roentgenol. 13, 65 (1925)
- 7) Langendorff, H., G.
Spiegler, F. Wachsmann
Strahlenschutzüberwachung mit Fil-
men. Fortschr. Röntgenstr. 77, 143
(1952)
- 8) Safety Series No. 25
Ärztliche Überwachung von Strahlen-
beschäftigten. Wien 1968
- 9) Wachsmann, F.
Der Radiologe 2, 345-353 (1970)
- 10) Langendorff, H.
Die biologischen Grundlagen des
Strahlenschutzes. Radiol. clin. 26
260 Stuttgart 1956

- 11) Langendorff, H. Der Wert des Blutbildes als Indikator eines Strahlenschadens. Strahlenther. 90, 408-420 (1953)

- 12) Chamberlain, A.C.F.M. The evaluation of white-cell counting in radiation protection. Brit. J. Radiol. 25, 169-176 (1952)

- 13) Morczek, A., W. Schmidt, Ergebnisse statistisch-hämatologischer Untersuchungen an beruflich strahlenexponierten Personen im niedrigen Dosisbereich Radiobiol. Radiother. 2, 107-123 (1968)

- 14) Andrews, G.A., B.W. Accidental radiation excursion in the Oak Ridge Y-12 plant: Part IV: Preliminary report on the clinical and laboratory effects in the irradiated employees. Health Physics II, 134-138 (1958)

- 15) March, H.C. Amer. J. Med. Sci. 242, 137 (1961)

- 16) Lewis, E.B. Science 142, S. 1492 (1963)

- 17) Jorke, D., L. Wedekind Das Verhalten verschiedener Lymphozytenformen und der Lymphoidzellen unter dem Einfluß ionisierender Strahlen. Fortschr. Röntgenstr. 108, 104-115 (1968)

- 18) Vich, Z., M. Beram Der nukleoläre Apparat der Lymphozyten bei Arbeitern in den Uranbergwerken. Cas. Lék. Ces. 106, 1186-1187 (1967)

- 19) Ingram, M., E. Barnes Phys. Rev. 75, 1765, (1949)

20) Dobson, R.L., M.M. Chupp

Effect of small measured doses of radiation on lymphocyte morphology in man! Proc.Soc.Exper.Biol.A.Med. 95, 360-361 (1957)

21) Alex, R., H.Zur-Horst-Meyer

Der Einfluß ionisierender Strahlen auf den Granulozyten-Zink-Gehalt bei Patientinnen mit gynäkologischen Carcinomen unter einer bi-axialen Telecobalttherapie einerseits und bei beruflich strahlen-exponierten Personen andererseits. Radiobiol.Radiother. 9, 689-693 (1968)

22) Buhr, A., H.Zur-Horst-Meyer

Das Verhalten der Zahl der Granulozyten und Lymphozyten sowie des Segmentindex der Kerne der neutrophilen Granulozyten im peripheren Blut beruflich strahlen-exponierter Personen in Abhängigkeit vom Personendosimeterwert. Radiobiol.Radiother. 9, 683-687 (1968)

23) Gerhardt, P.

Heinzkörperbildung bei chronischer Strahlenbelastung. Vorläufige Mitteilung. Fortschr.Röntgenstr. 103, 609-611 (1965)

24) Gerhardt, P.

Untersuchung über den Einfluß ionisierender Strahlen auf die Erythrozyten. II. Untersuchungsergebnisse. Strahlenther. 137, 478-492 (1969)

- 25) Gerhardt, P. Untersuchung über den Einfluß
ionisierender Strahlung auf die
Erythrozyten. III. Strahlenther.
137, 564-571 (1969)
- 26) Zur-HorstMeyer, H. Hämatologische Veränderungen bei
beruflich strahlenexponierten Per-
sonen in Abhängigkeit vom Perso-
nendosimeterwert. Strahlenther. 137,
315-319 (1969)
- 27) Sax, K. Genetics 23, 494 (1938)
- 28) Sax, K. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S. 5, 225 (1939)
- 29) Sax, K. Cold Spring Harbour Symp. Quant.
Biol. 9, 93 (1941)
- 30) Buckton, K. E., P. G. Human Radiat. Cytogenetics Amster-
Smith, W. M. Court- dam North Holland S. 106 (1967)
Brown
- 31) Bauchinger, M., Chromosomenaberrationen nach Ra-
O. Hug Röntgentherapie gynäkologischer
Tumore. Strahlenther. 131, 109-121
(1966)
- 32) Bauchinger, M. Chromosomenaberrationen bei beruf-
O. Hug licher Strahlenbelastung in der
Radiumtherapie. Fortschr. Röntgen-
str. 109, 97-103 (1968)
- 33) Bauchinger, M., E. The Relevance of Chromosome Aber-
Schmid, O. Hug ration Yields for Biological
Dosimetry after low level occupa-
tional Irradiation. IAEA-SM-143/13,
Wien 23.11.-27.11.1970

- 34) Schnickel, R. Chromosome aberrations in Leukocytes exposed in vitro to diagnostic levels of X-rays. *Amer. J. Hum. Genet.* 19, 1-11 (1967)
- 35) Pendic, B., O. Djordjevic Chromosome aberrations in human subjects five years after whole body irradiation. *Jugosl. Physiol. et Pharmacol. Acta* 4, 231-237 (1968)
- 36) Kong-Oo-Goh Total-body irradiation and human chromosomes: cytogenetic studies of the peripheral blood and bone marrow leukocytes seven years after total-body irradiation. *Radiat. Res.* 35, 155-170 (1968)
- 37) Donev, J., S. Zhivkov
K. Kirov, L. Vascov,
J. Boulanov Clinico-laboratory and cytogenetic observations of persons subjected to professional irradiation with gamma-neutron sources. *Strahlenther.* 138, 197-204 (1969)
- 38) Tsaranova, L. I.,
N. P. Bochkov An investigation of chromosomal aberrations in leukocytes of the peripheral blood. *Med. Radiol. (Mosk.)* 16, Nr. 1, 29-35 (1971)
- 39) Informationstagung: Strahlenschutzmaßnahmen nach Unfällen an kerntechnischen Anlagen: Der Unfall am SL-1 in Idaho
- 40) Zimmer, R. Medizinische Strahlenschutzüberwachung im Freistaat Bayern. Aus: Ärztliche Maßnahmen bei außergewöhnlichen Strahlenbelastung. Thieme Verlag (1967)

- 41) Möhrle, G., H. Schiefer-decker Inkorporationsrisiken und deren Abschätzung. Sonderdruck aus: Der Radiologe 9, 381-385 (1970)
- 42) Möhrle, G. Der heutige Stand der Dekorporierung und deren praktische Anwendung. Strahlenschutz in Forschung und Praxis, IX, Thieme Verlag (1969)
- 43) Ohlenschläger, L. Erste-Hilfe-Maßnahmen bei Strahlenunfällen unter besonderer Berücksichtigung radioaktiv kontaminierter Verletzungen. Atompraxis 16, 4 236-240
- 44) Vaane, J. P., E. M. M. de Ras, Chr. von Brandenstein Die Autoradiographie als Hilfsmittel bei der Analyse der Verteilung α -aktiver Stoffe im menschlichen Körper nach einer Luftkontamination. Atompraxis 16, 4 249-256
- 45) Rahm, G. Häufigkeit und Vorkommen von Inkorporationen in NRW. Strahlenschutz in Forschung und Praxis, IX, Thieme Verlag 1969
- 46) ICRP Publ. 10 Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission. Bericht des Komitees über die Ermittlung von Strahlendosen im Körpergewebe durch innere Kontamination nach Inkorporierung. (1968)
- 47) Oberhausen, E. Strahlenbelastung bei praktisch wichtigen Inkorporationsereignissen. Strahlenschutz in Forschung und Praxis. IX, Thieme Verlag (1969)

- 48) Sitzlack, G. Die Kontrolle beruflich Strahlen-
exponierter Personen in der DDR.
Dtsch.Gesundh.Wes.23, 118-122 (1968)
- 49) Eickelpasch, N. Radioaktivität und Strahlenschutz
in einer SWR-Anlage. Atom und
Strom. (1972)
- 50) Klesse, R. Probleme der Strahlenschutzüber-
wachung unter besonderer Berück-
sichtigung der Untersuchungsergeb-
nisse des Landesinstitutes für
Arbeitsmedizin Berlin. Inaugural-
dissertation an der medizinischen
Fakultät der Universität Berlin
(1971)
- 51) Keller, H. Gefahren und Überwachungsmaßnah-
men beim Umgang mit offenen radio-
aktiven Stoffen in kerntechnischen
Betrieben. Strahlenschutz in For-
schung und Praxis, IX, Thieme Verlag
1969
- 52) Oeser, H., Koeppe, P. Erfahrungen mit der Strahlenschutz-
rach, K. filmdosimetrie-Bericht der Landes-
meßstelle des Landes Berlin über
die Jahre 1959 und 1960. Deutsche
Med.Wochenschrift 87, 181-185 (1962)
- 53) Kiefer, H. Der Nachweis inkorporierter radio-
aktiver Substanzen beim Menschen.
GSF-Veröffentlichung K 34
- 54) Möhrle, G. Persönliche Mitteilung. Noch nicht
veröffentlicht.

55) Holthusen, H.

Allgemeine Grundsätze der Überwachung. In: Ärztliche Überwachung der Arbeitskräfte, die ionisierenden Strahlen ausgesetzt sind. 37 Euratom 1963

56) Zimmer, R.

Erfahrungen mit der Ersten Strahlenschutzverordnung. Sonderdruck aus: Bericht über den 11. Kongreß für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin 1969 in Düsseldorf

57) Frenzel, H.

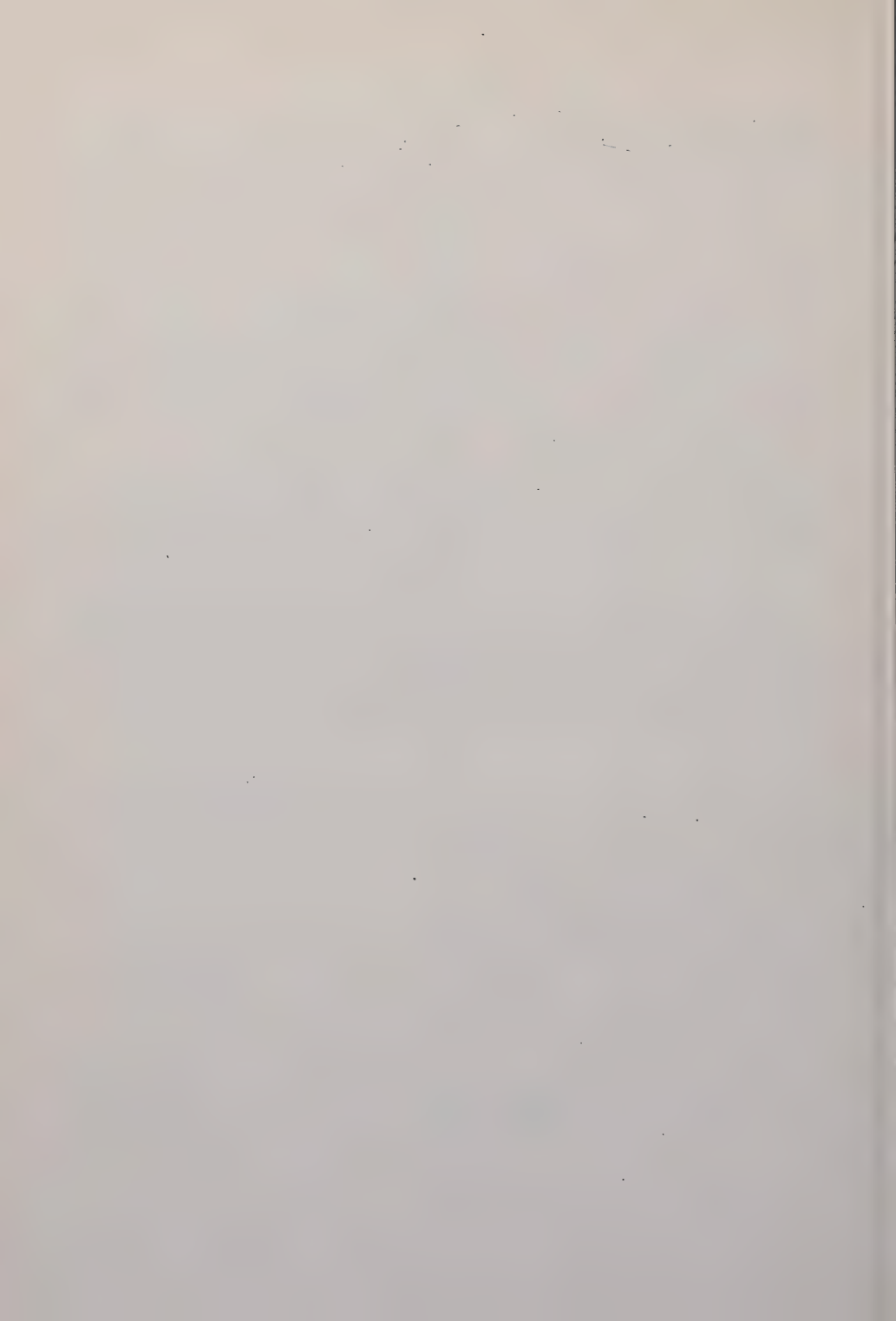
Die Strahlenbelastung von Bergleuten in den Oberpfälzischen Flußspatgruben und von Kriegsgefangenen im Joachimsthaler Uranbergbau. Inaugurationsdissertation an der Medizinischen Fakultät München 1969

58) Schieferdecker, H.

Anwendungsmöglichkeiten von Ganzkörperzählern. Bericht der GfK Karlsruhe

59) Frost, D.

Praktischer Strahlenschutz.
De Gruyter Verlag Berlin 1960



LEBENS LAUF

Geboren am 3.7.1945 in Leipzig

Vater: Heinz Pöttsch, techn. Angestellter

Mutter: Friedel Pöttsch, geb. Reim

eine Schwester

Eingeschult 1952 in die 48. Grundschule in Leipzig

1958 Übersiedlung nach Bayern; Besuch des Realgymnasiums

Icking; dort Abitur 1966.

Seit Herbst 1966 Studium der Human-Medizin an der
Ludwig-Maximilians-Universität München.

Vorphysikum Frühjahr 1968

Physikum Frühjahr 1969

Seit 10.4.1970 verheiratet mit Claudia Pöttsch, geb.

Werner, ein Kind

Sommer 1972 Staatsexamen

EXHIBIT

Document No. 17, 1942 in English

Author: John Doe, 1942, 1943, 1944

Title: The History of the United States

Page: 100

Document No. 18, 1942 in English

Author: John Doe, 1942, 1943, 1944

Title: The History of the United States

Document No. 19, 1942 in English

Author: John Doe, 1942, 1943, 1944

Title: The History of the United States

Page: 100

Document No. 20, 1942 in English

Author: John Doe, 1942, 1943, 1944

Title: The History of the United States

